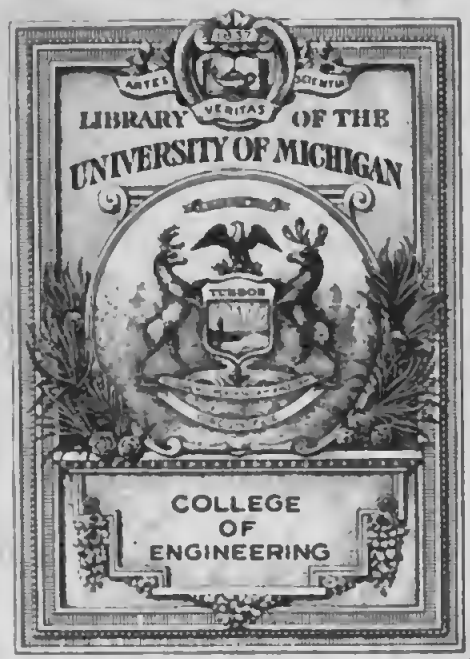
Handbuch der Flugzeugkunde Band VIII

B 417358 DUPL

Bennewitz

Flugzeuginstrumente

Digitized by Google


ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
COLLEGE
OF
ENGINEERING

East Engin.
Library
TL
507
.H236

Flugzeuginstrumente

von

Dr. Kurt Bennewitz

Handbuch der Flugzeugkunde

Unter Mitwirkung des

Reichsamtes für Luft- und Kraftfahrwesen

herausgegeben

von

F. Wagenführ
Oberstleutnant a. D.
vormals Major und Kommandeur der Flugzeugmeisterei

Band VIII

Flugzeuginstrumente

BERLIN W 62
Richard Carl Schmidt & Co.
1922

Digitized by Google

Flugzeuginstrumente

von

Dr. Kurt Bennewitz

Mit 386 Abbildungen im Text

BERLIN W 62
Richard Carl Schmidt & Co.
1922

Digitized by Google

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten

Published 1922

Copyright 1922 by Richard Carl Schmidt & Co., Berlin W 62

Nijhoff
Eng. lib.
V 8 ord. f
6-9-1922
Eng

Druck der Roßberg'schen Buchdruckerei, Leipzig

Digitized by Google

Vorwort des Verfassers.

Bei Eintritt der Demobilisation erging an mich durch den Inspekteur des Flugzeugwesens, Herrn Major Wagenführ, die Aufforderung, eine zusammenfassende Darstellung der während des Krieges auf dem Gebiete der Flugzeuginstrumente gewonnenen Erfahrungen zu geben.

Ich unterzog mich dieser Aufgabe gern; denn einmal war ich durch meinen Beruf als Assistent am Phys.-Chem. Institut der Universität Berlin mit der Meßtechnik vertraut; dann hatte ich während mehrjähriger Fliegertätigkeit an der Front reichlich Gelegenheit gehabt, praktische Erfahrungen zu sammeln; und endlich konnte ich die letzten anderthalb Jahre des Krieges als technischer Adjutant der physikalischen Abteilung der Flugzeugmeisterei die Weiterentwicklung dieses Gebietes selber in die Hand nehmen.

Aus diesen verschiedenen Etappen heraus ergaben sich die Gesichtspunkte, von denen ich mich bei der Niederschrift leiten ließ.

Als Wissenschaftler suchte ich von möglichst allgemeinen Grundlagen aus an die einzelnen Aufgaben heranzutreten; dadurch sah ich mich gezwungen, neben dem Bewährten auch eine ganze Anzahl noch unentwickelter Ideen wenigstens kurz zu streifen. Wenn auch vieles davon auf anderen Gebieten bereits erprobt sein mag, so glaube ich doch, manche in Hinblick auf das Flugzeug neue Anregung gegeben zu haben. Nicht vergessen will ich dabei der zahlreichen Erfinder, die mir ihre Ideen zur Verfügung stellten; mögen viele Vorschläge auch nicht zur Ausführung gelangt sein, so trugen sie doch erheblich zur Erweiterung des Gesichtskreises bei.

Als Frontflieger richtete ich mein Interesse ausschließlich auf die Praxis. Erfordernis und Ballast, Zweckmäßigkeit und Zopf waren die Richtlinien, die ich auch während der Niederschrift nie aus den Augen verloren habe.

Als technischer Adjutant endlich habe ich versucht, das Wünschenswerte mit dem Erreichbaren zu vereinigen, in technischer wie in organisatorischer Beziehung. Manches ist dabei aus den besonderen Umständen heraus geboren und vielleicht schon jetzt überholt; als Grundlage für die Fortentwicklung hielt ich es aber nicht für ratsam, darüber hinwegzugehen; in diesem Sinne sind auch die Normalisierungen zu verstehen.

Als Ganzes betrachtet, soll das Werk in erster Linie zum Fortschritt anregen, Ratschläge und Winke geben, Aufgaben stellen. In den Beschreibungen habe ich mich auf das unbedingt Notwendige beschränkt; auch von reinen Theorien wurde im allgemeinen abgesehen; die Fachliteratur mag da ergänzend eingreifen. Voll-

401601

Digitized by Google

ständigkeit wurde zwar angestrebt, bei dem vielverzweigten Gebiet aber wohl kaum erreicht.

Ein Vorwort verpflichtet zu Dank; er gilt meinen Vorgesetzten, Kameraden und Untergebenen, die mich in der Durchführung der Aufgaben unterstützten; den zahlreichen Firmen, die in erster Linie an dem Ausbau des Gebietes beteiligt sind und mir Material und Erfahrungen bereitwillig zur Verfügung stellten; endlich ganz besonders Herrn Marinebaurat Engberding, der mir bei der Durchsicht seine willkommene Unterstützung zuteil werden ließ.

Charlottenburg, Sommer 1921.

Kurt Bennewitz.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 5

Einleitung 15

Allgemeine Gesichtspunkte und Anforderungen 18

1. Gewicht 18
2. Größe 19
3. Lebensdauer 19
4. Genauigkeit 20
5. Unempfindlichkeit gegen Temperatureinflüsse 20
6. Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen 21
7. Unempfindlichkeit gegen Luftdruckwechsel 21
8. Unempfindlichkeit gegen Lageveränderung 21
9. Weitere Forderungen 22
10. Verteilung und Unterbringung 22

Abschnitt I.

Geräte zur Überwachung des Motors.

A. Drehzahlmesser und -Schreiber 24

1. Drehzahlmesser (Nahinstrumente) 24
   a) Fliehpendel (Messer und Schreiber) 26
   b) Wirbelstrom 30
   c) Rotierende Flüssigkeiten 33
   d) Luftreibung 34
   e) Reibräder 34
   f) Differentialantrieb 35
   g) Zwangläufige Messer 36
2. Ferndrehzahlmesser 37
   a) Starre Wellen 38
   b) Elektrische Messer 38
   c) Zwangläufige Fernmesser 43
3. Das Schaubild 44
4. Zubehör; Gliederketten, Prüfstände 44

B. Benzinuhren 48

1. Allgemeine Methoden 48
   a) Schaugläser 48
   b) Schwimmeruhren 48
      α. Übertragung durch Schnüre und Bänder 49
      β. Übertragung durch Arme 49
      γ. Übertragung durch Spindeln 50
      δ. Übertragung durch elektrische Widerstände 50

Digitized by Google

Seite

c) Schwimmeruhren mit einheitlicher Anzeige 51
α. Linearmachung am Werk 51
β. Linearmachung an der Übertragung 52
γ. Linearmachung am Schwimmer 52
δ. Linearmachung durch Druckschwimmer 52
d) Druckuhren (hydrostatische) 53
e) Strömungsuhren 54
f) Benzinwagen 54
2. Das Schauhild der Schwimmeruhren (Normalien) 54
a) Spiralskalen 55
b) Konzentrische Kreise 55
c) Mehrere Zeiger 56
3. Der Flausch der Schwimmeruhren (Normalien) 57

C Manometer (Benzin und Öl) 60
1. Allgemeine Gesichtspunkte 60
2. Metallmanometer 60
3. Quecksilbermanometer 60
4. Normalien 61

D. Kühlwasserthermometer 62
1. Allgemeine Gesichtspunkte und Methoden 62
a) Quecksilberthermometer 62
b) Weingeist- usw. Thermometer 63
c) Dampfdruckfernthermometer 63
d) Quecksilberfernthermometer 64
e) Elektrische Fernthermometer 64
f) Thermofarben 65
g) Thermoregler 65
2. Besondere Ausführungsformen 65
a) Normalthermometer mit Warnlampe 65
b) Normalthermometer ohne Warnlampe 69
c) Hängende Thermometer 69
d) Weingeist- usw. Thermometer 69
e) Einbau des Meßkörpers 70
f) Dampfdruckthermometer 70
g) Elektrische Fernthermometer 71
α. Differentialmessung 71
β. Widerstandsmessung 72

Abschnitt II.

Geräte zur Überwachung des Fluges und zur Navigation.

A. Höhenmesser 75
1. Allgemeines über Höhenmessung 75
a) Höhenmessung mit fester Basis (Absolute) 76
α. Barometrische Höhenmessung 76
β. Integrierende Höhenmessung 77
b) Höhenmessung mit wechselnder Basis (Relative) 77
α. Mechanische Höhenmessung 77
β. Optische Höhenmessung 78
γ. Akustische Höhenmessung 78
δ. Elektrische Höhenmessung 79
ε. Kombinierte Höhenmessung 79

Digitized by Google

Seite

ζ. Photographische Höhenmessung 79
η. Ballistische Höhenmessung 79
2. Barometrische Höhenmessung 80
a) Höhenformeln 80
b) Höhenmesser 81
α. Dosen und Bourdonrohre 81
β. Hebelwerk 83
γ. Zeiger und Skala 85
δ. Gehäuse 86
ε. Regulierung und Flugplatzzeiger 89
ζ. Temperaturkorrektion 90
η. Nachwirkungskorrektion 90
ϑ. Montage 91
c) Landungsmesser 93
α. Kapsel-Landungsmesser 93
β. Stufen-Landungsmesser 93
d) Höhenschreiber (Normal) 94
α. Dosen 94
β. Hebelwerk 94
γ. Schreibvorrichtung 101
δ. Tinte 102
ε. Diagramme 103
ζ. Trommel 103
η. Uhrwerk 105
ϑ. Arretierung 106
ι. Nullpunktregulierung 107
κ. Markiervorrichtung 108
λ. Gehäuse 108
μ. Einbau 109
e) Präzisionshöhenmesser (Vorschläge) 111
f) Steigleistungsmessung 112
α. Druck-Temperaturmessung 112
β. Dichtemessung nach Dr. Blasius 112
γ. Dichtemessung durch Taucher 113
δ. Dekaden 114
g) Eichverfahren für barometrische Höhenmesser 114
3. Mechanische Landungsmesser 120
4. Optische Landungsmesser 120
a) Lichtquelle im Flugzeug selber 120
b) Landungsmesser am Boden 122
5. Akustische und elektrische Höhenmesser 123
B. Variometer 123
1. Absolute Variometer 124
a) Mechanische, akustische, elektrische, photographische Variometer 124
b) Steigmessung durch Höhenmesser 124
c) Variometer „Bestelmeier“ 124
d) Theorie des Variometers 126
e) Intermittierendes Variometer 129
2. Relative Variometer 129
a) Vertikalanemometer 129
b) Anstiegmesser (Goerz) 130

Digitized by Google

Seite

C. Neigungsmesser (Kurvenmesser) 131
1. Allgemeines über Neigungsmessung 131
a) Relative Neigungsmessung 131
b) Absolute Neigungsmessung 133
c) Aerodynamische Neigungsmessung 134
2. Relative Neigungsmesser 136
a) Pendel, rollende Kugeln 136
b) Libellen 138
c) U-Rohre 140
3. Absolute Neigungsmesser 142
a) Kreiselgeräte 142
α. Der „Fliegerhorizont" 142
β. Indifferenter Kreisel 145
γ. Kreisel mit Luftantrieb 146
δ. Mehrfachkreisel 146
ε. Der „Steuerzeiger" 146
b) Mechanische Neigungsmesser 149
c) Magnetische Neigungsmesser 151
4. Aerodynamische Neigungsmesser 151

D. Kompasse 155
1. Orientierung und Navigation 155
a) Astronomische Orientierung 155
b) Der Kreiselkompaß 155
c) Der Magnetkompaß 156
α. Kompensation 156
β. Räumliche Trennung 157
d) Navigation 157
2. Besondere Ausführungsformen 159
a) Normalisierter Magnetkompaß 159
α. Nadel, Schwimmer und Rose 165
β. Rosenblatt 166
γ. Pinne 166
δ. Kessel 167
ε. Aufhängung 167
ζ. Belestigung 168
η. Kompensierung 169
ϑ. Kurszeiger und Außenteilung 170
ι. Beleuchtung 171
κ. Füllflüssigkeit 172
λ. Heizung 173
b) Besondere Magnetkompasse mit seitlicher Sicht 174
α. Kompasse mit Spiegeln oder Prismen 174
β. Kompasse mit Flüssigkeitsbrechung 174
γ. Glockenkompaß 174
δ. Trommelkompaß 175
ε. Der „Spiegelkompaß" 178
c) Fernübertragung bei Kompassen 179
α. Mittel zur Fernbedienung von Kurszeigern 179
β. Der „Selenkompaß" 179
γ. Der Induktionskompaß 183
δ. Weitere Mittel zur Fernübertragung 183

Digitized by Google

Seite

d) Navigationskompasse und -verfahren 184
α. Kursschieber 184
β. Der „Reisekompaß" 187
γ. Der „Abtriftkompaß" 188
δ. Anderes Abtriftverfahren 189
e) Kompensierungsgerät 190
α. Peilscheiben 191
β. Peilkompasse 193
γ. Fuß für Peilscheiben 194
δ. Hilfspeilung 194
f) Einbau der Kompasse 194

E. Fahrtmesser und Beschleunigungsmesser 195
1. Allgemeines 195
a) Absolute Fahrtmessung 195
b) Relative Fahrtmessung 196
c) Aerodynamische Fahrtmessung (Staudruck) 197
2. Absolute Fahrtmesser 198
a) Optische Fahrtmesser 198
α. Vertikalsichtfernrohre 198
β. Winkelsichtfernrohre 198
γ. Triangulation 199
b) Kombinierte Verfahren 199
α. Bestimmung der Windgeschwindigkeit 199
β. Bestimmung des Kurses 200
c) Integrierende Geräte 200
3. Relative und aerodynamische Fahrtmesser 201
a) Schalenkreuzfahrtmesser 201
b) Staudruckmesser 206
c) Eichung von Fahrtmessern 214
d) „Dreiecksmessung" 216
4. Beschleunigungsmesser 217
a) Allgemeines 217
b) Besondere Ausführungsformen 218
α. Federgerät 218
β. Quecksilbergerät 218
γ. Beschleunigungsschreiber 219
δ. Maximalbeschleunigungsmesser 219
ε. Spannungsmesser 219
ζ. Durchbiegungsmesser 220

Abschnitt III.

Geräte zur Beleuchtung des Flugzeuges und des Landeplatzes, sowie Signalgerät.

A. Die elektrische Zentrale im Flugzeug 221
1. Strombedarf 221
2. Stromquellen 222
a) Akkumulatoren 222
b) Generatoren 224
3. Vorzüge und Nachteile der Stromquellen 224
B. Flugzeugbeleuchtung 229
1. Instrumentenbeleuchtung 229
a) Hand- und Stablampen 229

Digitized by Google

Seite

b) Soffittenlampen 231
c) Deckenbeleuchtung 233
2. Markierungslichter am Flugzeug 233
a) Positionslampen 233
b) Hecklampen 234
3. Landebeleuchtung am Flugzeug 235
a) Allgemeine Gesichtspunkte 235
b) Ortsfeste Lampen 236
c) Bewegliche Lampen (Scheinwerfer) 237
d) Behelfsmäßige Landebeleuchtung 237
4. Zubehör zur Flugzeugbeleuchtung 238
a) Schalter 238
b) Leitungen 241
c) Sicherungen 241

C. Flugplatzbeleuchtung 242
1. Allgemeine Gesichtspunkte 242
a) Gliederung der Flugplatzbeleuchtung 242
b) Art und Betriebssicherheit der Lichtquellen 243
c) Verteilung und optische Ausnutzung 243
d) Transportfähigkeit der Lichtquellen 245
2. Besondere Ausführungen 246
a) Leuchtfeuer zur Orientierung 246
b) Landebahnbeleuchtung 248
c) Landekreuzmarkierung 251
d) Grenzlichter 252

D. Signalgerät 252
1. Signalgebung vom Flugzeug aus 252
a) Mechanische Signalgebung (Abwurfgerät und Rauchmunition) 252
b) Akustische Signalgebung (Klaxone) 252
c) Optische Signalgebung 254
α. Signalscheinwerfer 254
β. Leuchtmunition 258
γ. Rauchsignale („Möwe“) 258
2. Signalgebung vom Boden aus (s. auch unter 1; — Tuchzeichen) 260

Abschnitt IV.

Geräte zur persönlichen Unterstützung.

A. Atemgerät 261
1. Allgemeine Gesichtspunkte 261
2. Besondere Ausführungsformen 261
a) Sauerstoffbomben 261
b) Geräte mit flüssiger Luft 263
α. System „Ahrend & Heylandt“ 264
β. System „Flüssige Gase“ 265
γ. Vorwärmung 266
δ. Gewicht und Raumbedarf, Regulierung 268
ε. Feuersicherheit 270
ζ. Zuführung der Luft 270
c) Zubehör 272
α. Transportgefäße 272
β. Überfüllgerät 273
γ. Fahrbare Verflüssigungsanlagen 274

Digitized by Google

Seite

B. Heizgerät 275
1. Einzelheizung 276
a) Energiequellen 276
b) Heizbekleidung 277
c) Maschinengewehrheizung 278
d) Beheizung einzelner Instrumente 278
2. Zentralheizung 279
C. Verständigungsgerät 280
1. Akustische Verständigungsmittel 280
a) Hörschläuche 280
b) Telephone 281
2. Gefühlsmäßige Verständigungsmittel 281
a) Summer 281
b) Maultrommel 282
c) Klopfgerät 282
3. Optische Verständigungsmittel 282
a) Befehlsübermittler 282
b) Maschinentelegraph 284
c) Schriftübermittler 285
4. Mechanische Verständigungsmittel 285
a) Seilpost 285
b) Rohrpost 285
D. Flugzeugspiegel 286
1. Allgemeine Gesichtspunkte (Normalspiegel) 286
2. M.-G.-Spiegel 288
E. Vorrichtung zur Unfallverhütung beim Anwerfen der Luftschraube (Startschutz) 289
F. Brillen und Ferngläser 289
1. Brillen 289
a) Gesichtsfeld 289
b) Schutz gegen Luftzug 289
c) Schutz gegen Beschlagen 290
d) Schutz gegen Kälte 291
e) Abnehmbarkeit 291
f) Optische Gläser 292
g) Gefärbte Gläser 293
h) Auswechselbarkeit der Gläser 293
i) Geteilte Gläser 293
k) Irisblenden 294
l) Schutz gegen Verölung 294
2. Ferngläser 294
a) Für den Gebrauch im Flugzeug 294
b) Für den Gebrauch auf dem Boden 295
G. Borduhren 299
1. Anforderungen 299
2. Einbau 300
3. Stoppuhren 301

Abschnitt V.

Geräte zu verschiedenen Zwecken.

A. Anstellwinkelmesser 302
B. Benzinprüfer 303

Digitized by Google

Seite

C. Meteorologische Instrumente 307
1. Instrumente des allgemeinen Wetterdienstes 307
2. Instrumente für den Sonderbedarf des Fliegers 308
a) Windmessung (in Abhängigkeit von der Höhe) 308
b) Vertikalströmungsmesser 309
c) Böenmesser 310
d) Temperaturmessung (in Abhängigkeit von der Höhe) 312
e) Wolken- und Dunstbestimmung 312
f) Ionisationsmesser 313

Abschnitt VI.

Einbau 315
Firmenverzeichnis 320
Sachregister 321

Digitized by Google

Einleitung.

Wenn man das Flugzeug als einen Organismus betrachtet, so kann man die hier zu behandelnden Instrumente am treffendsten als seine Sinnesorgane bezeichnen. Daraus ergibt sich zugleich eine Abgrenzung des Gebietes; nicht alles gehört dazu, was sich im Flugzeug befindet, sondern nur das, was mittelbar oder unmittelbar zum eigentlichen Flug, zur Erhöhung seiner Sicherheit und zur Unterstützung der Besatzung dient. Geräte, die ganz besonderen Zwecken dienen, wie Lichtbildkameras, Waffen, Bomben, Vermessungsgeräte und ähnliches, fallen nicht darunter; auch nichts, was mit Luxus zu schaffen hat.

Insbesondere sollen im Nachstehenden behandelt werden:

I. Instrumente, die zur Bedienung des Motors notwendig sind;

II. Instrumente, die der inneren und äußeren Navigation dienen. Unter ersterer versteht man die eigentliche Kunst des Fliegens, die sich in der Betätigung der verschiedenen Steuer ausdrückt; unter letzterer die Orientierung im Gelände.

III. Das Lichtgerät im und am Flugzeuge, das der Beleuchtung, der Verständigung und dem Signalgeben dient. Anschließend daran das Lichtgerät am Boden, das die Beleuchtung des Flugplatzes und die Signalgebung zum Flugzeug übernimmt.

IV. Das Gerät zur persönlichen Unterstützung des Fliegers, wie Heizung, Atemgerät, Verständigungsmittel, Sicherheitsmaßnahmen und persönliche Ausrüstung.

V. Einige für die Vorbereitung zum Fluge wichtige Hilfsmittel; darunter sind auch die für die Wettervoraussage benötigten Instrumente aufgenommen.

VI. Endlich ist noch ein Abschnitt über den Einbau angefügt.

Die weitere Unterteilung des Stoffes ist aus dem Inhaltsverzeichnis ersichtlich.

Die Bestückung des Flugzeuges, wie sie heute besteht, hat sich eigentlich erst in den letzten Jahren entwickelt. Der primitive Flieger kam noch ohne all dieses Zubehör aus, vielleicht deswegen, weil die allgemeine Ansicht bestand, daß Fliegen Gefühlssache wäre, die sich durch kein Instrument ersetzen ließe. Der menschliche Gleichgewichtssinn, das Auge zur Abschätzung der Höhe und zur Prüfung des Geländes, das Ohr zur Überwachung des Motors und der Tastsinn zur Erkennung der atmosphärischen Gefahren reichte diesen Vorkämpfern völlig aus.

Als jedoch die Flughöhen größere wurden, die Flugdauer zunahm und die Motorstärke wuchs, stellte sich allmählich das Bedürfnis für dieses oder jenes

Digitized by Google

Hilfsmittel ein. Zuerst erkannte man den Wert eines Höhenmessers; die vorhandenen Schönwetter-Barometer mußten diese Aufgabe übernehmen. Bis zu einer Höhe von 2000 m erfüllten sie ihren Zweck auch leidlich.

Ebenfalls frühzeitig ward das Bedürfnis für einen Drehzahlmesser rege. Die Automobiltechnik hatte hierin bereits gut vorgearbeitet, so daß bis auf die Änderung des Übersetzungsverhältnisses nicht allzuviel Arbeit daran zu leisten war.

Fast noch ehe das erste Flugzeug geflogen war, versuchten sich bereits Erfinder an einer selbsttätigen Stabilisierung, die bis heute nicht gefunden ist. An sich war dies Bestreben nicht unlogisch; jemand der noch nie geflogen ist, glaubt das Geheimnis der Fliegerei ausschließlich in der Erhaltung des Gleichgewichts zu erblicken. Motorpannen, Flügelbrüche, Vergaserbrände, Einfrieren des Kühlwassers und ähnliches waren noch nicht in den näheren Gesichtskreis gerückt.

Bei den großen Überlandflügen der Jahre 1911/13 waren neue Forderungen aufgetaucht. So wurde die Frage nach der Betriebsdauer, also nach dem Vorrat an Betriebsstoff von Bedeutung. Benzinuhren waren zwar auf manchen Gebieten der Technik längst in Gebrauch; ihre gewöhnliche Form bedurfte jedoch erst einer Umbildung, um sie dem Flugzeuge anzupassen. Vorerst behalf man sich mit höchst primitiven Ersatzmitteln.

Zur Orientierung genügten Taschenkompasse, die ihren Dienst nur unvollkommen verrichten konnten, da sie nicht kompensiert waren. Hier und da mag ein Flieger einmal ein aus der Freiballontechnik bekanntes Gerät mitgenommen haben, mehr aus Spielerei als aus dem Bedürfnis heraus.

Die persönliche Ausrüstung wurde vom Automobilsport übernommen, insbesondere was die Automobilbrille betraf.

Einen wesentlichen Fortschritt brachte die Übernahme der Fliegerei durch das Militär. Die Erkenntnis, daß das Flugzeug Anwartschaft darauf hatte, eine wichtige Waffe zu werden, führte zu einer gewissen Vereinheitlichung der Ausrüstung. Aber man hatte die Entwicklungsfähigkeit bei weitem unterschätzt. Ein Zeugnis hiervon geben die Skalen der Höhenmesser, die anfänglich auf 2000—3000 m eingerichtet waren, um später auf 8000—10000 m zu steigen. Ähnlich erging es den anderen Arten von Instrumenten; kurz die von den Behörden vorgesehene Ausrüstung erwies sich in kurzem als unzureichend.

Dies etwa war der Stand zu Beginn des Krieges. Die Kriegsfliegerei stellte nun völlig neue Anforderungen an den Piloten, und diese bewirkten, daß man auch den Instrumenten, die bisher als recht nebensächlich galten, eine größere Aufmerksamkeit zuwandte.

Die Schaffung der Flugzeugmeisterei ermöglichte es, die aufgetretenen Fragen nach einheitlichen Gesichtspunkten zu bearbeiten. Eine besondere physikalische Abteilung wurde gegründet und in zielbewußter Arbeit weiterentwickelt. Zu lösende Aufgaben tauchten in reicher Menge auf. Die zunehmende Flughöhe und die wachsende Motorstärke forderten Erweiterung der Meßbereiche; die Kälte und die Luftverdünnung in größeren Höhen verlangten nach durchgreifenden Schutzmaßregeln; der Zwang zum Nachtflug erweckte das Bedürfnis nach zweckmäßiger Beleuchtung des Flugzeuges wie des Landeplatzes. Das Meldewesen mußte, wenn es seinen Zweck erfüllen sollte, auf gänzlich neue Grundlagen gestellt werden.

Digitized by Google

Eine der größten Unannehmlichkeiten, die es zu überwinden galt, bestand darin, daß mit der Stärke der Motoren die Erschütterung des Flugzeuges derart zunahm, daß das vorhandene Feingerät sehr bald den Dienst versagte. Hier wurde es nötig, Typen zu schaffen, die allen Anforderungen gewachsen waren.

Je vielseitiger die Aufgaben der Fliegerei wurden, um so mehr vergrößerte sich das Instrumentarium, und es ist nur verständlich, wenn in Fliegerkreisen hin und wieder eine Abneigung gegen all diesen „Ballast", wie man meinte, zutage trat. Es galt nunmehr, das Unwichtige auszuscheiden und das Wichtige in engster Weise zusammenzufassen. Diesem Zwecke dienten die vorgenommenen Normalisierungen.

Mit Beginn des Friedens sind nun eine ganze Anzahl der behandelten Aufgaben in den Hintergrund getreten, insbesondere haben alle nur kriegerischen Zwecken dienenden Geräte zur Zeit ihre Bedeutung verloren. Es wäre aber kurzsichtig, sie mit Stillschweigen zu übergehen; denn eine Verwertung der hierin gewonnenen Erfahrungen auf anderen Gebieten scheint im weitesten Maße möglich zu sein. Wenn auch die Friedensfliegerei das Tageslicht immer bevorzugen wird, so gehören doch Landungen in der Dunkelheit nicht zu den Ausnahmen. Die Fliegerei kann ihre Entwicklung erst dann als abgeschlossen betrachten, wenn Wind und Wetter, Temperatur und Tageszeit keine Betriebshindernisse mehr bilden.

Während sich für das normale C- und D-Flugzeug eine gewisse, nicht zu große Einheitsbestückung herausbildete, wurde das sich erst später entwickelnde R-Flugzeug mehr und mehr der Tummelplatz neuer Erfindungen. Dieses „fliegende Laboratorium" mit seinen zahlreichen Kraftanlagen und Stromquellen, seiner Geräumigkeit und Tragfähigkeit war besonders dazu geeignet, Instrumente aller Art aufzunehmen, um an ihnen im Fluge Studien zu machen. Die hierbei gesammelten Erfahrungen kamen dann wieder dem Kleinflugzeug zugute, das selber zu Versuchszwecken viel weniger geeignet war. Andererseits benötigte das Riesenflugzeug für seinen eigenen Betrieb einer ganzen Anzahl besonderer Einrichtungen, die erst auszubilden waren; so schuf man eine Telephonzentrale, Rohrpost, Mehrfachtourenzähler und ähnliches. Hier gewannen auch die Variometer eine wachsende Bedeutung.

Zu all dem gesellte sich noch eine weitere Klasse von Instrumenten, die ausschließlich technischen oder wissenschaftlichen Zwecken dienten, und zwar in erster Linie für Abnahmeflüge, Wettbewerbe und zur Erprobung von Neukonstruktionen. Es ist anzunehmen, daß in Zukunft gerade auf diesem Gebiete noch mancherlei Neues zu erwarten ist; die Technik hat längst erkannt, daß ihre zu Neukonstruktionszwecken benötigten Daten viel besser im Fluge selber zu ermitteln sind, als etwa auf dem Prüfstand.

Ein Wort noch über die später mitgeteilten Normalien und Toleranzen. Sie sind im Laufe des Krieges aufgestellt und haben für die künftige Friedenswirtschaft nur bedingte Geltung, da sie ein Kompromiß aus Materialknappheit, Lieferfristbedingungen und Umstellschwierigkeiten bildeten. Immerhin haben sie sich in der Praxis gut bewährt, so daß sie eine geeignete Grundlage für später bilden können.

Digitized by Google

Allgemeine Gesichtspunkte und Anforderungen.

Ein Blick auf die Liste der hier zu behandelnden Geräte zeigt, daß es sich in den meisten Fällen um Instrumente handelt, die auch schon vor der Entwicklung der Fliegerei bekannt waren. Die Patentliteratur ist reich an derartigen Erfindungen, und einzelne Geräteklassen sind bereits in zusammenfassenden Werken behandelt worden. Das Neue, das der vorliegenden Arbeit ihre Berechtigung geben soll, ist der Umstand, daß die Verbindung des Instruments mit dem Flugzeug zu ganz anderen Anforderungen führt, als sie bisher gestellt waren. Im folgenden sollen diese Anforderungen, soweit sie sich überhaupt allgemein behandeln lassen, einheitlich betrachtet werden; der besondere Fall kann jedoch erst in dem betreffenden späteren Kapitel behandelt werden.

1. Gewicht.

In stationären Betrieben ist die Frage nach dem Gewicht eines Instruments meist von untergeordneter Bedeutung; sachgemäße Konstruktion und Haltbarkeit bei möglichst geringem Preis sind ausschlaggebend. Ob z. B. ein spezifisch schwereres oder leichteres Material gewählt wird, richtet sich häufig nach der bequemsten Bearbeitungsmöglichkeit; im Flugzeug jedoch ist nur das Gerät zu gebrauchen, das neben der erforderlichen Güte ein Minimum des Gewichts aufweist. Hier kann leider nicht verschwiegen werden, daß die deutsche Industrie in ihrem Streben nach Solidität diesem Punkte noch immer zu wenig Rechnung trägt, im Gegensatz zum Auslande. Namentlich zeigt sich diese Eigenart bei der Durchbildung untergeordneter Organe des Instruments, weniger an seinem eigentlichen Kern; häufig werden Haken, Schrauben, Schellen oder Arme vorgesehen, die das Vielfache des tatsächlich vorhandenen Gewichts tragen können. Die Armaturen sind für die Ewigkeit berechnet, die Wandstärken der Schutzkapseln unnötig stark. Wenn auch solche Solidität an sich erfreulich ist, so vermehrt sie doch das Gewicht in unzulässiger Weise. Mehr noch als bisher wird dieser Gesichtspunkt bei der Fliegerei der Zukunft in Erscheinung treten. Unter den Anforderungen des Krieges ist die Betriebskraft des Flugzeugs in extremster Weise gestiegen, ohne jede Rücksicht auf Rentabilität. Der Kriegsmaschine konnte also eine immerhin kleine Gewichtserhöhung zugemutet werden. Anders im Frieden, wo die Betriebskosten eine oft ausschlaggebende Rolle spielen. Aller Voraussicht nach werden wir späterhin wieder zu schwächeren Maschinen zurückkehren oder doch zum mindesten die Tragfähigkeit in Form von Nutzlast auszunutzen gezwungen sein. Und jedes unnötige Gramm erfordert Betriebsstoff.

Digitized by Google

Die oft ausgesprochene Ansicht, daß ein Gerät auch einen schwereren Sturz überdauern soll, ist kaum stichhaltig, da in diesem Falle selbst bei äußerer Unversehrtheit doch immer ein Schaden am inneren Werk angenommen werden muß.

Es ergibt sich somit die Forderung, daß die Solidität des einzelnen Instruments derjenigen des Flugzeugs angepaßt sein muß. Die Befolgung dieses Grundsatzes wird meistens zu einer beträchtlichen Gewichtsverringerung führen.

2. Größe.

Ganz ähnlich verhält es sich mit den Abmessungen. Der beschränkte Raum im und am Flugzeug macht es zur Forderung, daß die Dimensionen des Gerätes möglichst klein gewählt werden. Eine untere Grenze wird nur durch die Konstruktionsmöglichkeit und die Bedingung einer guten Bedienbarkeit gesetzt. Letztere unterliegt nun anderen Voraussetzungen, als es sonst der Fall ist. Die Beeinträchtigung des Sehvermögens der Besatzung durch Luftzeug, Kälte, Ermüdung, psychische Beeinflussungen, sowie durch die Fliegerbrille, Behinderung durch Kleidung und ähnliches erfordert ein Mehrmaß der Skalendimensionen und zugleich eine geschickte Formgebung der Skala selber, worauf im späteren eingegangen werden soll. Ähnliches gilt auch für das Tastvermögen, das ebenfalls herabgesetzt ist. Es ergibt sich daraus die Forderung, alle während des Fluges benutzten Griffe, Schalter, Hebel und Knöpfe dem verminderten Tastsinn in Größe und Formgebung anzupassen. Die genannten Teile sind auch schon deswegen besonders stabil auszubilden, weil sie erfahrungsgemäß im Fluge mit überschüssigem Kraftaufwand bedient werden, was sich psychologisch leicht erklären läßt. Abgesehen von diesen Punkten ist ein Mindestmaß der Größe innezuhalten; die Mitnahme eines Gerätes darf nicht am Platzmangel scheitern.

Zwei weitere Gesichtspunkte sind noch zu erwähnen. Bisweilen ist die Präzision eines Instruments durch seine Größe bedingt; hier wird es sich immer um die Innehaltung eines Mittelwegs handeln. Dann aber hat die Erfahrung gelehrt, daß Instrumente in Taschenformat leicht Objekte absichtlicher oder unabsichtlicher Enteignung werden. So untechnisch diese Angelegenheit auch ist, spielt sie doch gerade hier eine nicht zu unterschätzende Rolle. Gute Montage oder besondere Formgebung helfen viel.

3. Lebensdauer.

Ein außer Betrieb befindliches Instrument soll natürlich eine unbegrenzt hohe Lebensdauer besitzen; die Anzahl seiner Betriebsstunden dagegen ist nach den bisherigen Erfahrungen nicht sonderlich groß. Auch wenn man den erhöhten Verschleiß des Krieges nicht berücksichtigt, so ist ein Flugzeug doch immer ein kurzlebiges Wesen. Ein solches nun mit Werken für die Ewigkeit auszurüsten, ist schon hinsichtlich der Preisfrage nicht zweckmäßig. An Stelle des Grundsatzes: „Das Beste ist gerade gut genug" tritt vielmehr die Forderung der „ausgeglichenen Güte". Dieses Prinzip war es, das z. B. den Flugmotor zu dem gemacht hat, was er heute ist. Ihm, als dem Hauptorgan des Wesens „Flugzeug", haben sich auch die Sinneswerkzeuge, die Instrumente, anzupassen.

Digitized by Google

Eine durchschnittliche Lebensdauer des Motors anzugeben, ist recht unsicher; man wird jedoch für unsere Zwecke bei einer Annahme von höchstens 200 bis 400 Betriebsstunden für die bisher gebräuchlichen Flugmotoren nicht allzu fehl gehen. Für ein Instrument wird man demnach das zwei- bis dreifache ansetzen dürfen, da es jedenfalls nicht eher versagen darf als ersterer. Ist sie ohne Gewichts- und Preiserhöhung größer, so ist das natürlich kein Fehler. Überhaupt darf aus der hier niedergelegten Auffassung nicht etwa eine Aufforderung zur Minderwertigkeit herausgelesen werden. Nichts liegt ferner als das! Es ist übrigens anzunehmen, daß die Lebensdauer der künftigen Flugmotoren stark wachsen wird.

4. Genauigkeit und Zuverlässigkeit.

Man wird geneigt sein, ein Instrument um so höher zu bewerten, je größer seine Genauigkeit ist; das trifft jedoch hier nicht unbedingt zu. Präzision ist nämlich meistens verbunden mit Empfindlichkeit, einer Eigenschaft, die hier keineswegs erwünscht ist. Laboratoriumsgeräte haben sich im Flugzeuge fast nie bewährt; für die Praxis scheiden sie gänzlich aus und für wissenschaftliche Zwecke bedürfen sie zumeist einer Umbildung. Im allgemeinen sind nur solche Geräte brauchbar, bei denen ein hinreichender Grad von Zuverlässigkeit auf Kosten der Empfindlichkeit vorhanden ist. Daraus ergibt sich die Forderung, allgemeine Normen über die geringst zulässige Höhe der Empfindlichkeit aufzustellen, was in den betreffenden Kapiteln geschieht.

5. Unempfindlichkeit gegen Temperatureinflüsse.

Zu den hauptsächlichsten Einflüssen, die die Zuverlässigkeit beeinträchtigen können, gehören die im Fluge zu verzeichnenden Temperaturschwankungen, die viel größer sind, als sie sonst aufzutreten pflegen. So kann im Winter bei einer Bodentemperatur (Sonne) von $+ 10^{0}$ C in großen Höhen ein Abfall bis zu $- 40^{0}$ und mehr eintreten, während im Sommer Temperaturschwankungen von $+ 35^{0}$ bis $- 25^{0}$ nichts Seltenes sind. Da man nun bei Instrumenten nicht gut zwischen Winter- und Sommergarnituren unterscheiden kann, folgt, daß die Anzeigen mindestens zwischen $+ 40^{0}$ und $- 40^{0}$ unabhängig von der Temperatur sein müssen, was häufig mit Schwierigkeiten verknüpft ist. Der Gedanke, die Temperatur durch Korrekturen, etwa an Hand von Tabellen, zu berücksichtigen, muß als gänzlich aussichtslos abgewiesen werden, soweit es sich um die Praxis und nicht um wissenschaftliche Forschung handelt.

Ein für alle Geräte wichtiger Punkt ist folgender: Das Versagen bei tiefen Temperaturen ist häufig nicht auf die mechanische Konstruktion, sondern auf das Gerinnen des Schmiermittels zurückzuführen, das bei den gewöhnlichen Ölen in der Gegend von $- 35^{0}$ oder auch höher einzutreten pflegt; empfindliche Werke verspüren das Dickwerden des Öles bereits bei $- 10^{0}$.

Ein Ausweg, tiefe Temperaturen durch Heizvorrichtungen oder sonstigen Kälteschutz überhaupt zu vermeiden, ist, abgesehen von einzelnen Fällen, bisher noch nicht gefunden worden. Als Wärmequellen ständen zwar Auspuffgase oder elektrische Batterien zur Verfügung; ihrer Verwendung stehen jedoch mancherlei Schwierigkeiten im Wege, worauf im Kapitel Heizung eingegangen wird.

Digitized by Google

6. Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen.

Alle in und am Flugzeug befindlichen Teile sind recht erheblichen Erschütterungen ausgesetzt; eine Beurteilung auf Eignung muß hierauf hauptsächlich ihr Augenmerk richten. Zwei Arten von Erschütterungen sind es, die in ihrer Wirkung sehr verschieden sind; einmal der unregelmäßige harte Stoß mit großer Schwingungsweite, der beim Start und namentlich bei der Landung auftritt, zweitens die regelmäßige periodische Schwingung von relativ kleiner Weite, die vom arbeitenden Motor herrührt und während des ganzen Fluges vorhanden ist. Die erstere Art kann durch hinreichende Solidität des Werkes überwunden werden; die Bekämpfung der letzteren bietet manchmal Schwierigkeiten, und zwar immer dann, wenn Elemente mit Eigenschwingungen vorhanden sind. So können bei bestimmten Tourenzahlen gefederte Zeiger derart ins Schwingen geraten, daß jede Ablesung unmöglich wird. Für eine ganze Klasse von Instrumenten liegt hier die zu lösende Hauptschwierigkeit vor. Besonders erschwert wird die Aufgabe dadurch, daß es sich meistens nicht um eine einzelne kritische Schwingung handelt, sondern um ein ganzes Spektrum, zumal die Tourenzahl des Motors gewissen gewollten oder ungewollten Schwankungen unterliegt. Die sogenannte kritische Tourenzahl des Rumpfes ist zudem noch sehr von dem Typ abhängig. Eine Abstimmung federnder oder schwingender Elemente auf „unschädliche" Schwingungszahlen führt somit kaum zu einem Ergebnis. Es bleibt also nichts weiter übrig, als solche Elemente geeignet zu dämpfen, was häufig auf Schwierigkeiten stößt, und sie zugleich vollständig auszubalancieren, was immer erreichbar sein sollte.

7. Unempfindlichkeit gegen den Luftdruckwechsel.

Der häufige Wechsel des Luftdrucks, der etwa in den Grenzen von 1 bis $^1/_2$ Atmosphären liegt, verlangt ebenfalls Berücksichtigung; doch läßt sich dieser Fehler meistens leicht überwinden. Von Belang wird die Frage nur bei wenigen Klassen von Instrumenten, so bei Drehzahlmessern und Benzinuhren. Einige für diese in Betracht kommende Bauarten, die sich auf die Luftreibung oder den Luftdruck stützen, mußten aus diesem Grunde fallen gelassen werden.

8. Unempfindlichkeit gegen Lageveränderung.

Während stationäre Instrumente unverrückbar feststehen oder zum mindesten auf eine unveränderliche Grundlage gestellt werden, unterliegen die im Flugzeug befindlichen Geräte andauernden Neigungen und Drehungen, derart, daß alle beweglichen Elemente dem fortgesetzten Wechsel der Schwerkraft und den durch Fliehkräfte hervorgerufenen Beschleunigungen ausgesetzt sind. Überall da, wo z. B. Federkräfte gegen Massen wirken, treten infolgedessen Bewegungen auf, die sich der eigentlichen Funktion überlagern. Es ist Sache des Konstrukteurs, diese schädlichen Einflüsse auf ein Minimum herabzusetzen, was durch geeignete Dämpfung in Verbindung mit dem Ausgleich gravitierender Massen zu geschehen hat. Der Ersatz einer Federkraft durch Gravitationskräfte, wie es z. B. in elektrischen Meßinstrumenten zuweilen geschieht, ist hier völlig unmöglich.

Digitized by Google

Über die Größenordnung der im Fluge auftretenden Neigungen und Beschleunigungen läßt sich nur Ungefähres sagen. Ein normales Verkehrsflugzeug wird selten Querneigungen[1]) über 20° annehmen; im Gleitflug steigt die Längsneigung bis auf etwa 40°; ein modernes Jagdflugzeug dagegen, das imstande ist, einige Zeit in der Rückenlage zu fliegen, besitzt überhaupt keine Maximalneigung. Über Fliehkraftbeschleunigungen läßt sich nur sagen, daß sie beim Verkehrsflugzeug in der Ordnung der Erdbeschleunigung liegen, bei Jagdflugzeugen ein Vielfaches davon betragen können.

Über die Mittel, die Einflüsse von Temperatur, Erschütterung, Luftdruck und Lage im Laboratorium zu studieren, ist in den betreffenden Kapiteln Näheres enthalten.

9. Weitere Forderungen.

Daß die Instrumente auch gegen Feuchtigkeit zu schützen sind, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Dieser Punkt beansprucht im übrigen mehr Aufmerksamkeit bei der Lagerung als bei der Inbetriebnahme. Ferner ist die Geschlossenheit der äußeren Form zu beachten; alle scharfen Kanten, Vorsprünge und dergleichen sind zu vermeiden, da sie leicht hinderlich werden oder Beschädigungen ausgesetzt sind. Soweit Instrumente nicht im Innern des Rumpfes, sondern frei an den Streben oder der Außenwand untergebracht werden, sind sie nach Möglichkeit in Form von Stromlinienkörpern zu bringen oder dementsprechend zu verschalen. Die Montage namentlich solcher Geräte, die häufiger ausgewechselt werden, muß leicht vorzunehmen sein.

10. Verteilung und Unterbringung der Instrumente.

Neben der zweckmäßigen Konstruktion der Instrumente ist ihre Unterbringung im Flugzeug oft von ausschlaggebender Bedeutung. Die wichtigsten Gesichtspunkte dafür sind folgende:

a) In Anbetracht der Gewichts- und Raumersparnis ist die Ausrüstung auf das wirklich Benötigte zu beschränken. Alles nur dem Luxus Dienende ist zu vermeiden. Andererseits gehört zu dem Notwendigen manches, was häufig übersehen zu werden pflegt.

b) Eine Doppelausrüstung (Reservegerät) ist nur für wenige Gegenstände angezeigt, im allgemeinen aber zu unterlassen.

c) Die Ausrüstung richtet sich nach Art und Zweck des Flugzeugs; eine allgemeine Regel aufzustellen, ist nicht möglich.

d) Die Instrumente sind zu trennen in Führer-, Beobachter- und gemeinsames Gerät und demgemäß zu verteilen. Bei Groß- und Riesenflugzeugen treten natürlich auch noch andere Gesichtspunkte hinzu.

e) Der Einbau muß so erfolgen, daß jedes Instrument bequem ablesbar ist (Tag — Nacht). Lichtverhältnisse, Blendung, Spiegelung, Entfernung vom Ablesenden sind zu beachten.

[1]) Gemeint sind „falsche" Neigungen, d. h. solche gegen die Resultante der Kräfte; Näheres siehe Kapitel: Neigungsmesser.

f) Die Instrumente dürfen sich nicht gegenseitig stören. Magnetismus, Wärmewirkung, Feuersgefahr.

g) Der Ort der Unterbringung darf die Funktion selber nicht stören. Erschütterung, Kälte, Wärme, Stoß (bei Landung), Auswechselbarkeit (z. B. bei Akkumulatoren).

h) Eine Zusammenfassung der Anzeiger, etwa auf einem besonderen Brett, bietet häufig Vorteile, namentlich wenn es sich um eine größere Anzahl handelt, wie bei Großflugzeugen. Hier wird man am besten nach Gruppen zusammenfassen, und zwar nach dem Gesichtspunkt der Funktionen. Man wird also bei mehreren Motoren die Tourenzähler einerseits, die Kühlwasserthermometer andererseits vereinigen; weniger zu empfehlen ist die Anordnung nach Motoren, da auf diese Weise die Übersicht erschwert ist.

Digitized by Google

Abschnitt I.

Instrumente zur Überwachung des Motors.

A. Drehzahlmesser.

1. Drehzahlmesser (Nahinstrumente).

Die im Flugzeug verwandten Drehzahlmesser gingen im allgemeinen aus den beim Eisenbahn-, Automobil- und Maschinenwesen geschaffenen Typen hervor. Instrumente, um Tourenzahlen sich drehender Wellen zu messen, können auf verschiedenster Grundlage beruhen. Eine umfassende Zusammenstellung findet man in der Schrift von Fr. Pflug „Geschwindigkeitsmesser" (Verlag Springer, 1908). Bei der Auswahl aus dem Vorhandenen wird man auf die Sonderheit des Flugzeuges gegenüber stationären oder sich auf dem Boden bewegenden Anlagen Rücksicht nehmen müssen. Neben den im ersten Abschnitt aufgeführten allgemeinen Bedingungen sind folgende Punkte zu beachten: Drehzahlmesser für Flugzeuge müssen das Maximum ihrer Genauigkeit in der Hauptgebrauchszone besitzen. Diese beträgt bei normalen Motoren 1200—1600 Touren pro Minute; bei Spezialtypen fällt oder steigt sie auf 800 bzw. 2200. Da jedoch die Drehzahl des stark gedrosselten Motors ebenfalls, wenn auch nicht mit gleicher Genauigkeit, von Bedeutung ist, so sollte als unterste Grenze 400 Touren allgemein angenommen werden. Der Meßbereich ist mithin ein ziemlich großer. Die Meßgenauigkeit in der Hauptgebrauchszone muß derart sein, daß Unterschiede von 20 Touren noch sicher abzulesen sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß Drehzahlmesser ausschließlich mit der untersetzten Nockenwelle gekuppelt sind, deren Übersetzungsverhältnis überwiegend 1 : 2, in selteneren Fällen 2 : 3, 4 : 7, 4 : 9 beträgt. Die Beantwortung der Frage, ob es von Vorteil ist, den einzelnen Messer mit einem auswechselbaren Übersetzungsmechanismus zu versehen, hängt von der Entwicklung der Motoren ab. Sollte sich für das zu erwartende Normalflugzeug ein Einheitsmotortyp herausbilden, so wird die Frage wesenlos. Für anders geartete Typen kommt dann vielleicht ein auswechselbarer Messer in Frage. Vorzuziehen ist unter allen Umständen ein direkt arbeitendes Gerät ohne Übersetzung, da es ein Moment der Unsicherheit weniger besitzt. Ferner muß dem Umstande Rechnung getragen werden, daß es rechts- und linksläufige Motoren gibt.

Eine weitere Forderung ist die sofortige Einstellung des Zeigers. Ein Gerät, das auch nur um eine Sekunde nachhinkt, ist ziemlich wertlos und verwirrt mehr als es nützt. Wir kommen auf diesen Punkt unten zurück. Ein zeitweiliges Versagen muß so gut wie ausgeschlossen sein, da es bei diesem Gerät weit eher

Digitized by Google

verhängnisvoll werden kann als bei anderen. Die stark wechselnde Tourenzahl, namentlich der Rotationsmotoren, stellt große Anforderungen an die Güte des Materials und der Konstruktion. Die Skalenteilung soll möglichst linear sein, höchstens darf sie mit wachsender Drehzahl schwach steigen, nicht kleiner werden. Bezüglich des Skalenbildes selber wird auf spätere Stelle verwiesen. Ein Zittern des Zeigers erschwert die Ablesung und muß vermieden werden. Von den allgemeinen Bedingungen verdient besonders die Lageunempfindlichkeit Beachtung.

Bei gewissen Flugzeugtypen erfordert die räumliche Trennung des Motors vom Führer eine Zerlegung des Geräts in Geber und Empfänger. Dies führt zu der Sonderklasse der Ferndrehzahlmesser. Die Lösung dieser Aufgabe ist bisher noch nicht so einwandfrei gelungen, wie es wünschenswert wäre.

Konstruktionsprinzipien.

Aus der Fülle der Möglichkeiten wollen wir nur diejenigen hervorheben, die Gegenstand der Erprobung im Flugzeug gewesen sind und dabei ihre Brauchbarkeit erwiesen haben. Außerdem sollen noch solche berücksichtigt werden, die, wenn sie auch jetzt noch nicht vollkommen brauchbar sind, doch eine gewisse Aussicht besitzen. Grundsätzlich kann man zwei Klassen von Drehzählern unterscheiden, deren erste direkt die Drehgeschwindigkeit mißt und deren zweite die pro Zeiteinheit erfolgenden Umdrehungen „zählt". Wir wollen die erste Klasse als integrierende, die zweite als differenzierende Vorrichtungen bezeichnen. Sie unterscheiden sich für den Gebrauch darin, daß die Anzeige der ersteren kontinuierlich, die der letzteren diskontinuierlich erfolgt. Dieser scheinbare Nachteil der letzteren wird jedoch dadurch wieder aufgewogen, daß ihre Anzeige „zwangläufig" erfolgt oder mit anderen Worten: differenzierende Geräte zeigen entweder richtig oder gar nicht, integrierende können auch falsch zeigen, z. B. ihre Anzeige mit der Zeit ändern. Während in Deutschland integrierende Geräte bei weitem überwiegen, zog man in Frankreich differenzierende vor. Die sprungweise Einstellung der letzteren hat bei der Mehrzahl unserer Flieger, und zwar namentlich den ungeübteren, eine Abneigung gegen diese Art gezeitigt, die unseres Erachtens nach nicht berechtigt ist. Ein etwas triftigerer Grund dürfte in der Preisdifferenz liegen, die zugunsten der bei uns üblichen Apparate spricht.

Zu den integrierenden Drehzählern gehören in erster Linie Fliehkraftmesser nach dem Prinzip der Pendelregulatoren, weiter elektromagnetische und Wirbelstrommesser und endlich eine ganze Anzahl verschiedenartiger Geräte, die Flüssigkeits- oder Luftreibung oder Einstellung von Flüssigkeitsniveaus verwenden. Die letztgenannte Art ist zwar die wohlfeilste, den Bedingungen der Fliegerei aber noch nicht völlig angepaßt.

Zu den differenzierenden Geräten gehören zur Zeit solche mit mechanischer Betätigung, obwohl die Aufgabe auch auf elektrischem Wege gelöst werden könnte. Anscheinend ist hier ein offenes Gebiet für die Zukunft vorhanden. Zu dieser Klasse gehören endlich noch Resonanzgeräte (sog. Frequenzmesser), über die jedoch Erfahrungen nur spärlich vorliegen.

Alles was sonst auf dem Gebiete der Drehzähler geschaffen ist, hat bisher seine Probe im Flugzeug noch nicht abgelegt.

Digitized by Google

a) Drehzahlmesser nach dem Fliehpendelprinzip.

Diese Form ist aus dem Dampfmaschinenregulator hervorgegangen: Auf einer vertikalen Welle sind mehrere, meistens zwei Arme angeordnet, die bei Drehung der Welle infolge der auftretenden Zentrifugalkräfte nach außen geschleudert werden und dadurch einen Mitnehmerring heben. Bei stationären Anlagen benutzt man als Gegenkraft die Gravitation, im Flugzeug verbietet sich dies infolge der

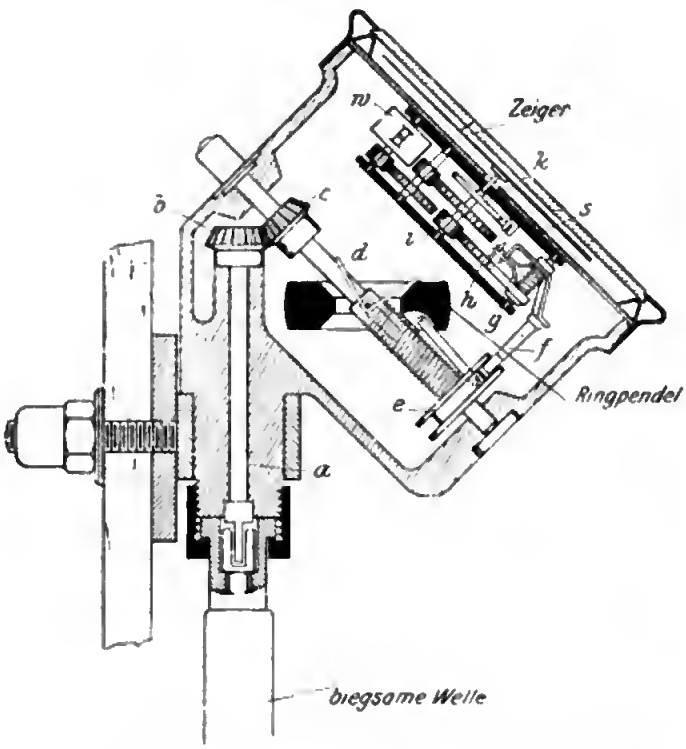


Abb. 1. Schema eines Drehzahlmessers mit Fliehpendel (Morell).

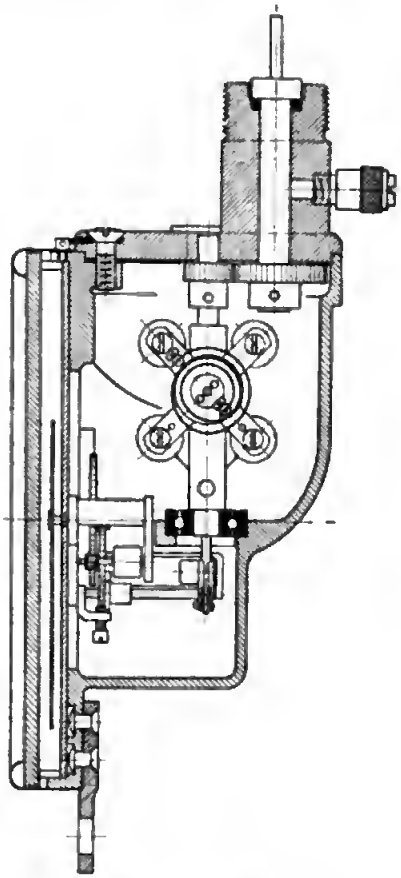


Abb. 2. Drehzahlmesser mit Doppelpendel (Bundschuh).

im Fluge auftretenden Beschleunigungen. An Stelle dessen werden Federn eingeführt; da jedoch auch so noch eine Lageempfindlichkeit bestehenbleibt, bildet man den Schwungkörper als indifferentes Doppelpendel aus. In Abb. 1 ist ein solches Ringpendel im Durchschnitt skizziert. Die Ringebene stellt sich bei zunehmender Tourenzahl mehr und mehr zur Achse senkrecht; eine lange Spiralfeder liefert die nötige Gegenkraft. Der Massenausgleich dieser Anordnung ist so gut wie vollständig, wenn man von dem Verbindungsstück zur Gleitscheibe absieht. Die einseitige Verbindung letztgenannter Teile könnte immerhin zu einem gewissen Kanten führen, weshalb andere Firmen (Abb. 2) Doppelpendel in symmetrischer Form benutzen.

Die Ausführungen aller dieser Pendelformen zeigen keine wesentlichen Unterschiede gegeneinander und haben sich alle gleich gut bewährt. Da es sich um ziemlich hohe Tourenzahlen handelt, müssen die Gegenfedern kräftig sein, d. h. wesent-

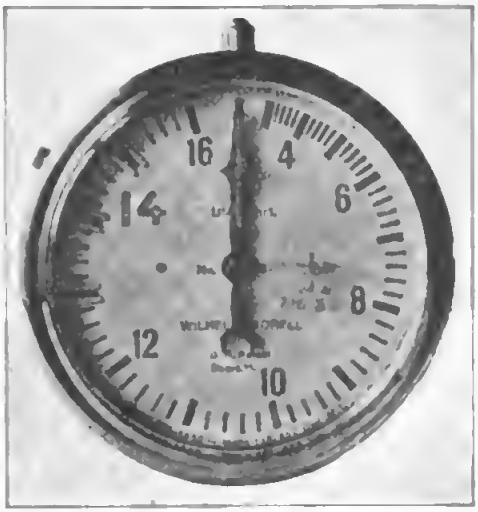


Abb. 3. Drehzahlmesser (Morell).

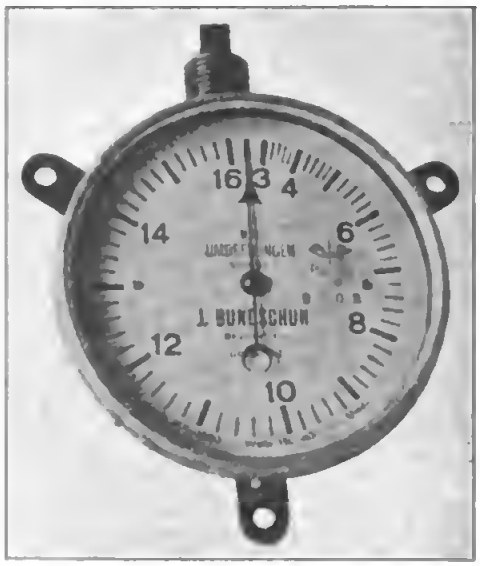
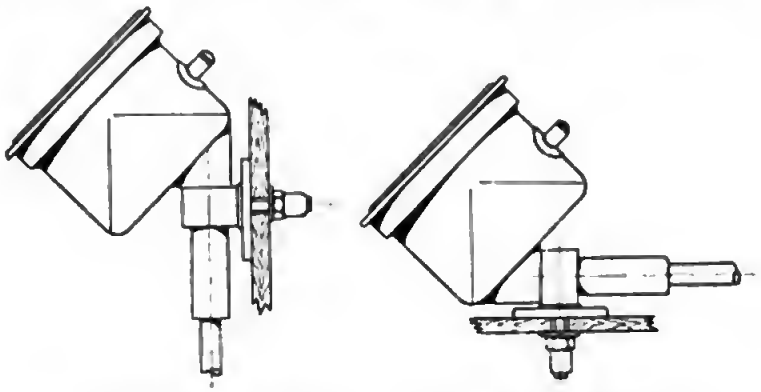


Abb. 4. Drehzahlmesser (Bundschuh).

lich stärker als z. B. bei den weit geringeren Tourenzahlen der Automobile. Aus diesem Grunde besitzt das für das Flugzeug konstruierte Gerät eine ganz erhebliche Stabilität, was sich wieder in der Ausgeglichenheit der Anzeige kundtut. Starke



Senkrechter Antrieb. Wagerechter Antrieb

Abb. 5.

Schwankungen der Drehzahl übertragen sich bei dieser Anordnung nicht ruckweise, sondern fließend, so daß der empfindliche Übersetzungsteil (Abb. 1 f—k) keiner besonderen Belastung ausgesetzt ist. Auf diesen letzteren einzugehen erübrigt sich in Anbetracht der Verschiedenartigkeit der Ausführung durch die einzelnen Firmen. Von gewisser Bedeutung ist lediglich die Art und Weise, auf die man die noch vor-

Digitized by Google

handenen Schwankungen des Zeigers zu dämpfen versucht hat. Insonderheit hat man (Abb. 1 *w*) eine Luftdämpfung in Form eines kleinen Flügelrades eingeschaltet. Die hierdurch bewirkte Dämpfung ist nicht sehr groß, genügt aber zur Not. Auf andere Versuche mit Wirbelstromdämpfern oder in Kapseln laufenden Kolben sei nur hingewiesen. Die Erfahrung zeigte, daß ein richtig konstruiertes Gerät auch ohne jeden Dämpfer schwingungsfrei zu arbeiten imstande ist. Die äußere Form der Geräte ist aus Abb. 3 und 4 ersichtlich. Die oben erwähnte Bedingung, daß die relative Empfindlichkeit bei etwa 1300 Touren ihr Maximum hat, ist in den beiden Modellen erfüllt. Für Nachtflüge hat sich die aus Abb. 3 ersichtliche Radiumbelegung des Zeigers und der Teilstriche 1300, 1400, 1500 gut bewährt. Im übrigen verweisen wir, was die Einheitlichkeit der Schaubilder (Skalen usw.) betrifft, auf einen späteren Abschnitt (siehe S. 317).

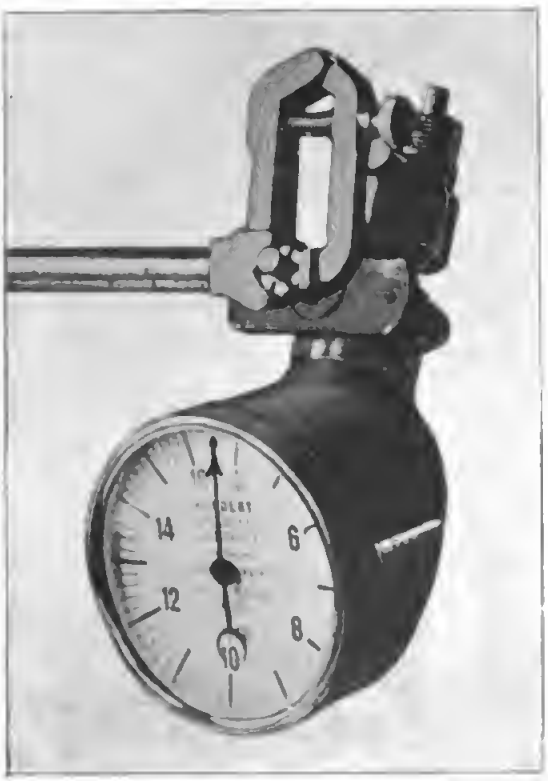


Abb. 6. Drehzahlmesser mit oberem Antrieb (Horn).

Die Verbindung des Anzeigers mit der Nockenwelle erfolgt durch biegsame Wellen. Die Führung letzterer ist das ausschlaggebende Moment für die Zuverlässigkeit des Geräts. Grundsätzlich sind übermäßig lange Wellen (länger als 1 m), andererseits aber starke Krümmungen zu vermeiden. Um eine möglichst kurze geradlinige Verbindung erzielen zu können, werden die Anzeiger in mehreren Formen in den Handel gebracht, wie aus Abb. 5 ersichtlich ist. Handelt es sich um tiefliegende Motoren, so wird man dem senkrechten Antrieb den Vorzug geben. Liegen Anzeiger und Nockenwelle in gleicher Höhe, so ist wagerechter Antrieb zu verwenden. Bei geräumigen Flugzeugen wird sich immer ein gangbarer Weg finden lassen. Anders jedoch, wenn der Führersitz hart an den Motor stößt, wie bei Kleinflugzeugen. Hier liegt häufig der Fall so, daß ein geeigneter Platz für den Drehzähler von vornherein nicht vorgesehen ist. Die Folge davon ist eine stark gekrümmte Verlagerung der biegsamen Welle und damit ein häufiges Versagen des Anzeigers. Solange eine biegsame Welle überhaupt noch Verwendung finden soll, muß das Augenmerk auf ihre absolute Fixierung gerichtet werden, da ein Schlagen unfehlbar zu Brüchen führt.

Abb. 6 zeigt eine andere Form, bei der der Antrieb von oben her erfolgt. Die Welle wird in diesem Falle eine nach oben konvexe Krümmung haben, was ihre Stabilität stark beeinträchtigt. Diese Form kann nur dann verwendet werden,

wenn die Welle in ihrem ganzen Verlauf festgelegt ist. Krümmungen der Welle nach unten sind im allgemeinen weniger gefährlich.

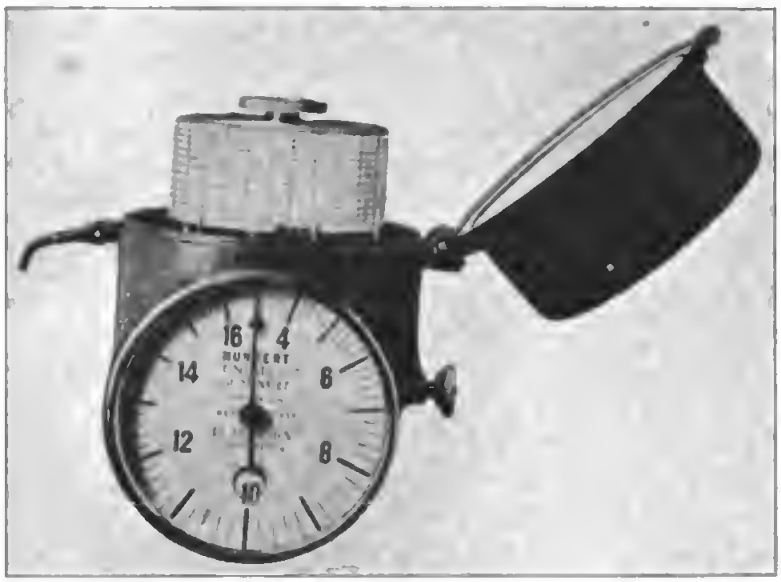


Abb. 7. Drehzahlschreiber (Horn).

Viel idealer wäre jedoch die bisher noch nicht eingeführte direkte Kupplung etwa mit Hilfe von Lederscheiben.

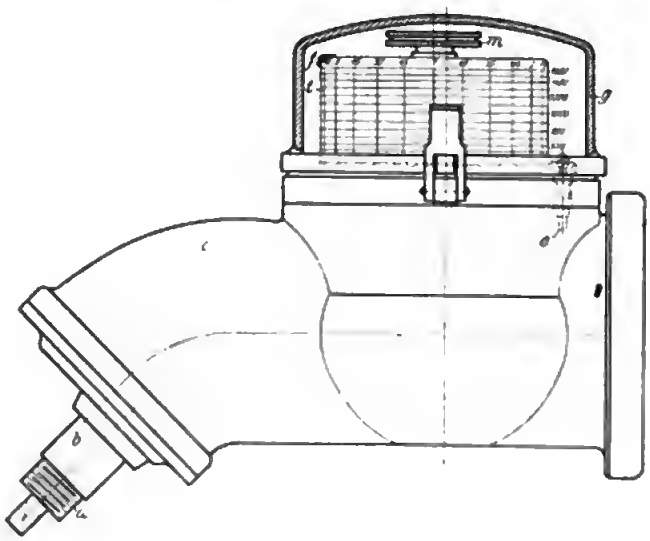


Abb. 8. Aufriß des Drehzahlschreibers (Horn).

Über Wellen und sonstige Übertragungen siehe weiter unten.

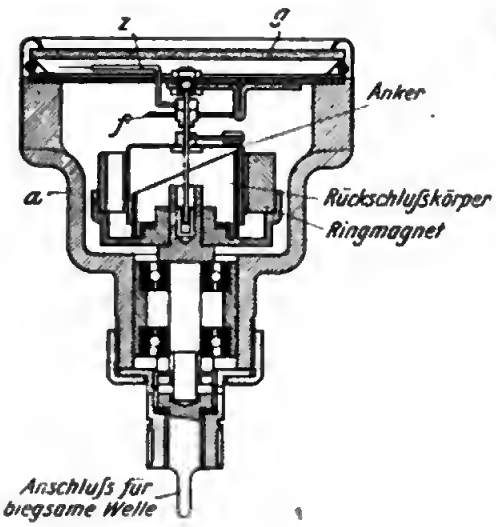
Einen Vorteil gewähren sämtliche nach diesem Prinzip gebauten Instrumente, nämlich die Möglichkeit, sie beliebig an rechts- oder linksläufige Motoren anzu-

schließen. Sie bedürfen somit keiner besonderen Umschaltvorrichtung. Im übrigen sind sie unempfindlich gegen Luftdruck, Temperatur und, wenn gut ausgeführt, auch gegen Erschütterungen und Lageänderungen. Die großen, während der Betätigung auftretenden Kräfte am Pendel ermöglichen es, das Gerät zum selbstschreibenden auszugestalten. Eine derartige Form ist in Abb. 7 und 8 abgebildet. Im Kopf des Anzeigers ist ein Uhrwerk untergebracht, das einen Papierstreifen rotieren läßt. Ein mit einem Mitnehmer verbundener Silberstift schreibt in bekannter Weise die Geschwindigkeitskurve nieder. Bisher ist das Pendelsystem das einzige, welches eine derartige schriftliche Fixierung erlaubt.

Literatur: W. Wilke, Zeitschr. d. Ver. d. Ing. (1918) 801—814.

b) Drehzahlmesser nach dem Wirbelstromprinzip.

Diese Art ist sowohl bei uns wie bei den Verbandsmächten viel verbreitet. Ihre Wirkungsweise ist folgende: Durch die Welle wird ein Ringmagnet angetrieben, über dem eine aus Aluminium oder Kupfer bestehende, freigelagerte Scheibe oder Trommel drehbar angeordnet ist. Das rotierende Magnetfeld ruft Wirbelströme in



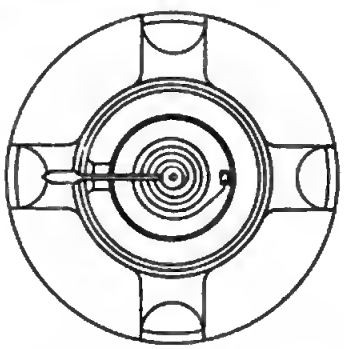


Abb. 9. Schema eines Wirbelstromdrehzahlmessers (Deuta).

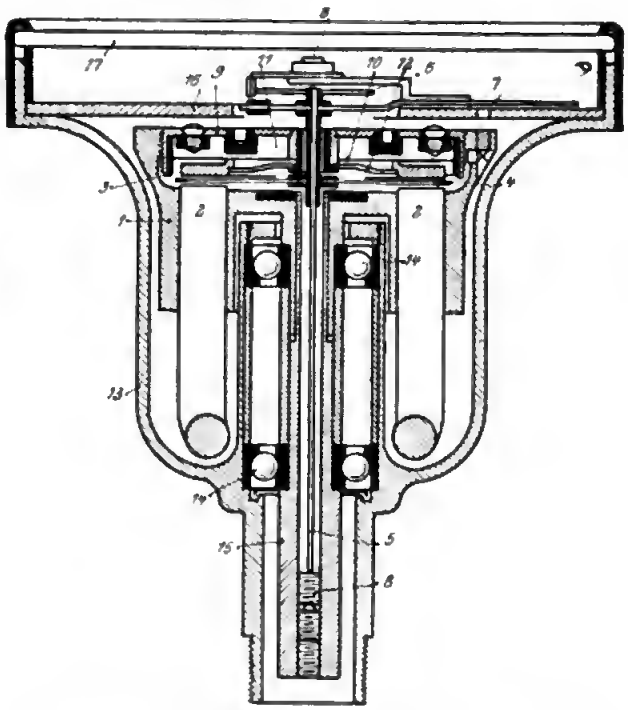


Abb. 10. Schema eines Wirbelstromdrehzahlmessers (Ihle).

1. Kappe.
2. Magnet.
3. Dichtung.
4. Kupferscheibe.
5. Zeigerachse.
6. Gegenfeder.
7. Zeiger.
8. Achslager.
9. Aethergefäß.
10. Membran.
11. Aetherfüllung.
12. Rückschlußkörper.
13. Gehäuse.
14. Kugellager.
15. Welle.
16. Skalenscheibe.
17. Glasscheibe.

dieser Scheibe hervor, die ein Drehmoment in letzterer erzeugen. Diesem Moment wirkt eine schwache Feder entgegen. Der Ausschlag ist im wesentlichen linear abhängig von der Drehzahl des Ringmagneten. Wenn auch die Konstruktion solcher Geräte einfach ist, so treten doch leicht Fehlerquellen auf, die zusätzliche Korrektionselemente erfordern. So ist die Anzeige derartiger Geräte stark von dem zwischen Magnet und Ankerscheibe verbleibenden Zwischenraum abhängig; Veränderungen dieser Art können aber bereits durch Temperaturschwankungen eintreten. Ferner ist die elektrische Leitfähigkeit der Ankerscheibe maßgebend für das aus dem Wirbelstrom resultierende Drehmoment. Da nun aber erstere wiederum von der Temperatur abhängt, so ergibt sich, daß derartige Geräte sämtlich auf ihre Temperaturkonstanz zu untersuchen sind. Ein Schema eines gebräuchlichen Drehzählers dieser Art ist in Abb. 9 gegeben. Der Anker ist hier als Dose ausgeführt, um den herum sich der Ringmagnet dreht.

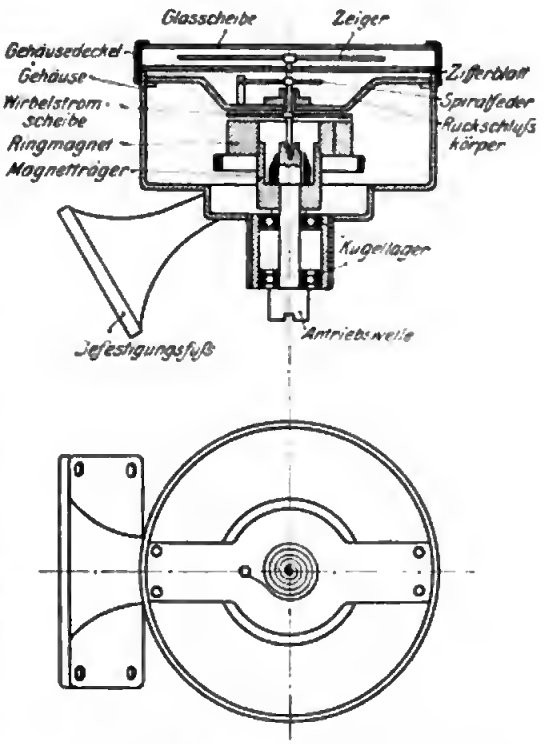


Abb. 11. Schema eines Wirbelstromdrehzahlmessers („O. S.").

Um ein geeignetes Wirbelstromfeld zu erzielen, ragt von unten ein sog. Rückschlußkörper in die Dose hinein, der sich zugleich mit dem Magneten dreht. Da das rotierende Gebilde ein ziemliches Trägheitsmoment besitzt und andererseits sehr genau zentriert sein muß, läuft es in Kugeln. Die Abstände zwischen Anker und Magnet sind sehr klein, und nur präzise Ausführung gewährleistet bei der starken Beanspruchung durch den Flugbetrieb ein zuverlässiges Arbeiten des Instruments. Die Temperaturkorrektion ist auf mannigfache Art versucht worden. Eine Möglichkeit besteht darin, daß man den Ringmagneten aufspaltet und den Spalt mit einem anderen Metall bestimmter magnetischer Leitfähigkeit ausfüllt. Dadurch ändert sich das Wirbelstromfeld. Durch Laboratoriumsmessungen wurde der Fehler zwischen + 40° und — 40° auf etwa 0,25 % pro 10° Temperaturdifferenz festgestellt. Eine andere Ausführung (Abb. 10) benutzt eine mit Äther gefüllte und mit Membranen versehene Kapsel, die durch ihre Temperaturempfindlichkeit den Abstand zwischen Anker und Magnet verändert. Dieses Verfahren, dessen Einzelheiten aus der Abbildung hervorgehen, hat sich ebenfalls als recht brauchbar erwiesen. Immerhin beeinträchtigt die Notwendigkeit solcher zusätzlichen Organe die Sicherheit und macht das Gerät kostspielig. Eine weitere Form gibt Abb. 11.

Allen Wirbelstrommessern haftet der Nachteil an, daß die den Zeiger betätigenden Kräfte nur klein sind. Infolgedessen sind sie sämtlich langsamen Schwingungen

leichter unterworfen als die Geräte der erstgenannten Art. Andererseits aber sind sie aus demselben Grunde unempfindlicher gegen schnelle Schwingungen, ein Zittern des Zeigers ist bei ihnen kaum beobachtet worden. Ihre Einstellung erfolgt etwas langsamer als beim Drehpendel, aber für die Praxis immer noch schnell genug. Für Vergleichsinstrumente (Prüfstände, siehe unten) eignen sie sich hervorragend.

Abb. 12. Drehzahlmesser (Deuta).

Die äußere Form ist aus Abb. 12 zu ersehen. Der Anschlußzapfen zur biegsamen Welle ist immer axial angeordnet, so daß für die verschiedenen Bedürfnisse des Einbaues bisher nur eine Form zur Verfügung steht. Es ergeben sich daher leicht die oben erwähnten Mißstände bezüglich einer ungeeigneten Verlagerung der Welle. Eine direkte Montage dieses Geräts auf die Nockenwelle ohne dämpfende Kupplung ist nicht empfehlenswert, da der feine Mechanismus durch die Stöße zu sehr leiden würde. Die Skala ist meistens streng linear, das Instrument jedoch nur entweder rechts- oder linksläufig verwendbar.

Die beiden bisher behandelten Typen sind, abgesehen von dem zwangläufigen unter g, die einzigen, die für Nahanzeigeinstrumente im Flugzeug bisher ernsthaft in Frage kamen. Es erscheint nicht unzweckmäßig, durch einen Vergleich beider ihre Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen.

Pendelinstrumente.

Vorteile:

1. Temperaturunempfindlichkeit in weitesten Grenzen, auch ohne besondere zusätzliche Regulierung.
2. Unempfindlichkeit gegen rauhe Behandlung.
3. Leichte Erzielung der Lageunempfindlichkeit.
4. Freisein von langsamen Schwingungen des Zeigers.
5. Direkte Verwendung für Rechts- und Linkslauf.

Nachteile:

1. Unter Umständen zitternde Bewegung des Zeigers, die jedoch durch geeignete Konstruktion unterdrückt werden kann.
2. Bei den gebräuchlichen Typen die Notwendigkeit einer zeitweiligen Schmierung.

Wirbelstrominstrumente.

Vorteile:

1. Unempfindlichkeit gegen schnelle Schwingungen, infolgedessen sehr gleichmäßige Anzeige.
2. Äußerst geringe Masse des Anzeigekörpers, infolgedessen Schonung der Lager.
3. Fortfall jeglicher Wartung, insbesondere der Schmierung.

Digitized by Google

Nachteile:

1. Möglichkeit der Änderung des magnetischen Feldes, die aber durch sachgemäße Wahl des Materials vermieden werden kann.
2. Temperaturabhängigkeit, die sich nur zum Teil mit Hilfe von zusätzlichen Elementen beseitigen läßt.
3. Beeinflussung des Anzeigers durch langsame Schwingungen bzw. Stöße.
4. Nur Rechts- oder Linkslauf.

Die Genauigkeit der Anzeige sowie ihre Verwendbarkeit in verschiedenen Lagen ist bei beiden gleich.

Einige Systeme, die bisher noch nicht vollkommen genügten, sich aber den Zwecken der Fliegerei vielleicht anpassen ließen, sollen noch kurz gestreift werden.

c) Drehzahlmesser mit rotierendem Quecksilber.

Abb. 13 und 14 zeigen ein Gerät der Firma Tachometerbau Lehmbeck & Co., Berlin, das durch seine Einfachheit besticht. Durch die rotierende Welle 14 *d* wird eine Scheibe *c* in Umdrehung versetzt, die das in der Dose *b* befindliche Quecksilber rotieren läßt. Ein dicht darüber befindliches Stäbchen *s* wird durch das Quecksilber mitgerissen, aber durch eine Feder *f* daran verhindert. Es ergibt sich ein Ausschlag, der annähernd dem Quadrat der Umdrehungen proportional ist. Das Instrument besitzt somit, wie auch Abb. 13 zeigt, die oben als wünschenswert hingestellte Eigenschaft, daß die Anzeige bei hohen Touren anwächst, so daß das Skalenbild in der Gebrauchszone stark auseinandergezogen erscheint. Die Schattenseiten dieser Anordnung liegen einerseits in der Schwierigkeit der Abdichtung der Quecksilberdose, andererseits in der Verwendung des Quecksilbers selber. Die Dichtung ist im vorliegenden Modell so ausgeführt, daß die Zeigerachse (Stahl) in einem Rubin läuft, da andere Materialien durch das Quecksilber angegriffen würden. Wenn man die thermische Ausdehnung des Quecksilbers berücksichtigt, ist leicht ersichtlich, daß eine solche Dichtung nur ungenügenden Schutz gegen Austritt von Quecksilber gewährt. Andererseits liegt in Anbetracht des Gefrierpunktes des Quecksilbers von — 39° die Möglichkeit vor, daß die Füllung gefriert, womit eine Zerstörung des Instruments verbunden ist. Wenn auch der letzte Gesichtspunkt nicht ausschlaggebend sein dürfte, da bei geschickter Benutzung der Motorwärme ein Heruntergehen der Temperatur unter den Gefrier-

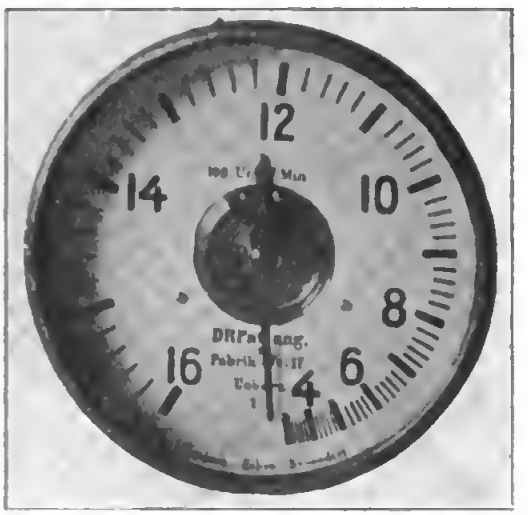


Abb. 13. Drehzahlmesser (Lehmbeck).

punkt wohl immer zu vermeiden ist, so kann sich immerhin der Temperaturkoeffizient der Reibung bemerkbar machen. Andererseits lassen die geringe Raumbeanspruchung des Geräts, die günstige Skalenteilung und der relativ einfache Mechanismus eine Weiterarbeit als wünschenswert erscheinen.

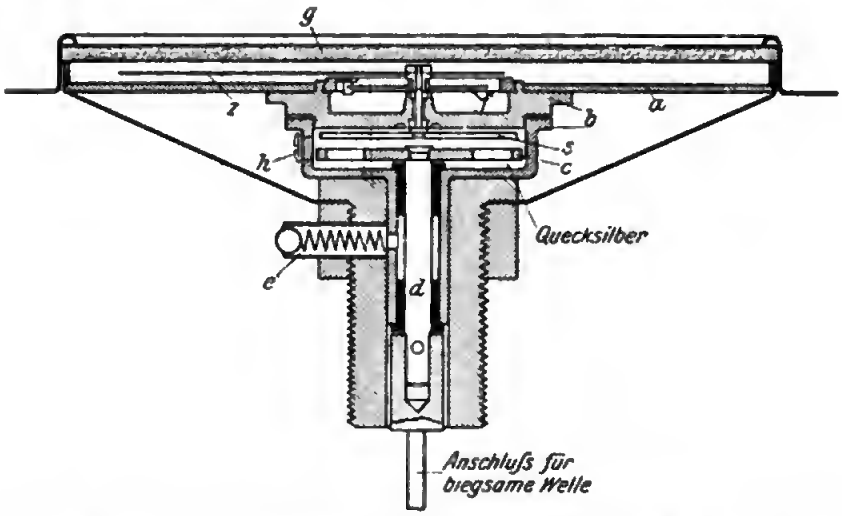


Abb. 14. Schema eines Drehzahlmessers mit rotierendem Quecksilber (Lehmbeck & Co.).

d) Drehzahlmesser mit Luftreibung.

Man ist auf die Idee gekommen, als reibenden Körper an Stelle des Quecksilbers die Luft selber zu verwenden. Dadurch fallen zwar manche Schwierigkeiten fort, dagegen beeinflußt jeder äußere Luftdruckwechsel die Dichte der eingekapselten Luft, da ein völlig hermetischer Verschluß kaum durchführbar sein dürfte. Wie eine einfache Betrachtung lehrt, wird damit aber die übertragende Kraft stark verändert. Es handelt sich bei dieser Konstruktion nämlich nicht um eine Anwendung des Maxwellschen Gesetzes, nach dem die innere Reibung unabhängig vom Druck ist, sondern um aerodynamische Drucke. Ob Geräte, die lediglich innere Reibung in reiner Form verwenden, brauchbar sind, ist unseres Wissens bisher noch nicht untersucht worden. Diese Klasse von Drehzählern muß also für den Gebrauch in Flugzeugen, wenigstens in ihrer jetzigen Form, unbedingt verworfen werden, könnte aber bei Verwendung reiner innerer Reibung Aussicht versprechen.

e) Drehzahlmesser mit Reibrad.

Außer der Reibung von Flüssigkeiten und Gasen hat man endlich auch noch versucht, die Reibung fester Körper für gedachte Zwecke nutzbar zu machen. Ein grundsätzlich interessantes Verfahren stellt der Drehzähler Behrens dar (Abb. 15). Auf einer sich mit konstanter Geschwindigkeit drehenden Friktionsscheibe *a* gleitet ein Reibrad *b*, das auf einer Vierkantachse *c* in Richtung derselben verschiebbar ist. Diese Vierkantachse wird nun mit der zu messenden Welle verbunden, wodurch dem Reibrad *b* eine bestimmte Drehgeschwindigkeit aufgezwungen wird. Dieses Rad wird sich nunmehr auf seiner Achse so lange ver-

schieben, bis seine Radialgeschwindigkeit mit der Tourengeschwindigkeit der Friktionsscheibe übereinstimmt. Durch einen schematisch angedeuteten Mitnehmer wird die Stellung des Reibrades auf einen Zeiger übertragen. Wenn man von der immer vorhandenen Schlüpfung dieses Systems absieht, liegen physikalische Gründe gegen seine Verwendbarkeit im Flugzeug nicht vor, wohl aber ist der praktische Nachteil von Bedeutung, daß die Einstellung nur sehr träge vor sich geht. Ob es gelingen wird, durch geeignete Abänderung diesen Mangel zu beheben, ist zweifelhaft. Außerdem dürfte die zu erwartende Genauigkeit mit der der Pendelapparate nicht wetteifern können.

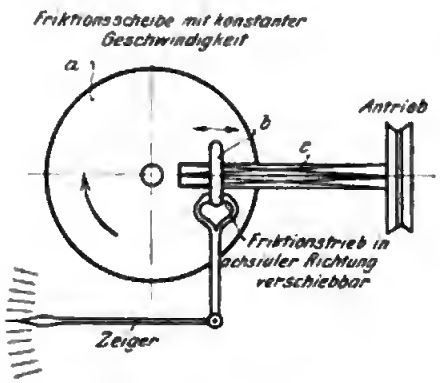


Abb. 15. Schema eines Drehzahlmessers mit Reibrad (Behrens).

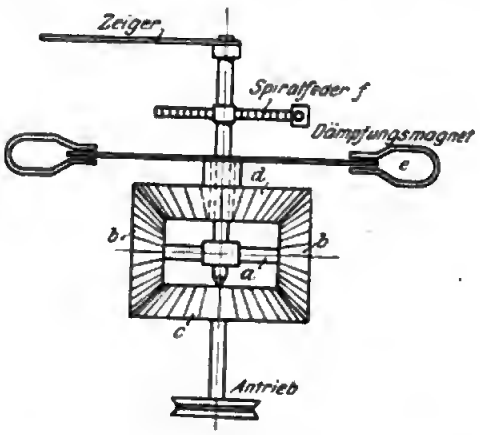


Abb. 16. Schema eines Drehzahlmessers mit Differential (A. E. G.).

f) Drehzahlmesser mit Differentialantrieb.

Ein von der A. E.-G. herausgebrachtes Instrument, das bisher jedoch nur für kleine Tourenzahlen gebaut wurde, beruht auf folgendem Prinzip (siehe Abb. 16):

Wenn man die Achse (*a*) des Planetenrades (*b*) eines Differentials festhält und das eine Kegelrad (*c*) dreht, so rotiert das andere (*d*) mit gleicher Geschwindigkeit im gegenläufigen Sinne. Läßt man nunmehr die Achse des Planetenrades frei, so würde sich an dem Vorgang nichts ändern, vorausgesetzt, daß das zweite Kegelrad reibungslos liefe. Verbindet man letzteres etwa mit einer magnetischen Dämpfung (*e*), so wird nunmehr die Achse des Planetenrades zu rotieren beginnen. Vernichtet man endlich diese Rotation dadurch, daß man sie zur Spannung einer Feder (*f*) benutzt, so wird der Ausschlag der Planetenachse ein Maß für die Umdrehungsgeschwindigkeit des ersten Kegelrades bilden. Die Dämpfung erfolgt hier durch eine zwischen zwei Hufeisenmagneten rotierende Aluminiumscheibe. Gegen diese Dämpfung müssen die gleichen Bedenken erhoben werden, wie gegen die oben behandelten Wirbelstrominstrumente, d. h. auch hier haben wir einen erheblichen Temperatureinfluß zu befürchten, der nur schwer zu kompensieren ist. Die Konstruktion ist im übrigen auch reichlich empfindlich und leidet durch Erschütterungen. Unter diesen Umständen wurde von einem Versuch im Flugzeug Abstand genommen, zumal der Preis nicht unerheblich war.

g) Zwangläufige Drehzahlmesser.

Die hierunter fallenden Instrumente gehören zu den differenzierenden. Ihr Prinzip kann man sich am einfachsten folgendermaßen veranschaulichen: Verbindet man mit der zu messenden Welle ein einfaches Zählwerk, das also fortlaufend die Anzahl n der stattgefundenen Umdrehungen angibt, und erstreckt man diese Messung über die Zeit t, so ergibt der Ausdruck $\frac{n}{t}$ die mittlere Tourenzahl. Stellt man darauf das Zählwerk wieder auf Null und wiederholt die Messung, so erhält man fortlaufend die mittlere Drehzahl, bezogen auf ein Zeitelement t. Macht man t nun so klein, daß Veränderungen der Drehzahl innerhalb dieses Elements nicht erheblich werden, so kann man eine fast zusammenhängende Meßkurve erzielen.

Abb. 17.
Drehzahlmesser Bruhn (Westendarp u. Pieper).

Um die gesamten Betätigungen nun mechanisch erfolgen zu lassen, läßt man mit Hilfe eines Uhrwerks das Zählwerk sich selbsttätig ein- und ausschalten und wieder auf Null stellen. Um weiter die jedesmalige Anzeige bis zur nächsten zu fixieren, verbindet man entweder drei solcher vollständigen Organe, die um je eine Drittelperiode gegeneinander verschoben sind, zu einem Ganzen, oder aber man hält die Anzeigevorrichtung mechanisch fest. Der erste Weg ist in französischen Fabrikaten („Tel" usw.), der zweite in dem Tachometer „Bruhn" (siehe Abb. 17 und 18) beschritten. Naturgemäß sind solche Geräte nicht einfach, in der gediegenen Form der letztgenannten Art können sie aber Hervorragendes leisten. Es würde zu weit führen, die Einzelheiten dieses Geräts zu erläutern. Jedenfalls ist nach dem bisher Gesagten klar, daß die Genauigkeit eines solchen Drehzählers nur von der Genauigkeit des in ihm befindlichen Uhrwerks abhängig ist. Da für den Bau solcher Werke in der Uhrentechnik bereits sehr viele Erfahrungen vorliegen und andererseits die Eigenart des Flugs ihnen nichts anhaben kann, ist der auftretende Fehler leicht auf ein Mindest naß zu beschränken. In diesem Sinne kann man von einer Zwangläufigkeit reden, wenn auch der exakte Sinn der Zwangläufigkeit, wie etwa bei einem bloßen Zählwerk, nicht zutrifft. Die gebräuchlichen Typen dieser Art besaßen anfangs eine Meßzeit von einer Sekunde, die sich in der Flugpraxis als unzureichend erwies. Spätere Verbesserungen ermöglichten eine Herabsetzung auf eine halbe Sekunde. Das damit geschaffene Modell, das so ziem-

lich an der Grenze der technischen Leistungsfähigkeit liegen dürfte, befriedigt nun die Ansprüche des größten Teils der Flieger; wenn auch der Anfänger das immer noch vorhandene sprungweise Einstellen des Zeigers als verwirrend empfinden mag, so ist für den geübten Piloten die alles andere in den Schatten stellende Genauigkeit der Anzeige von erheblichem Vorteil. Ein Vergleich mit den früher behandelten Typen führt zu folgendem Ergebnis zugunsten des zwangläufigen Geräts:

1. Rein kinematischer Meßvorgang.
2. Unabhängigkeit von Temperatur und Druck, Reibungswiderständen und Spannungsverlusten durch Federn.
3. Keinerlei Eichung und Nachprüfung, sondern rechnerisch, nicht empirisch geteilte Skala.
4. Gleichmäßig hoher Genauigkeitsgrad bei allen Geschwindigkeiten.
5. Im Falle gleichbleibender Tourenzahl vollkommen ruhiger Zeigerstand.
6. Niedrige Umdrehungsgeschwindigkeit der Meßorgane und daher lange Betriebsdauer.
7. Verstellbare Antriebskapsel, die die Aufnahme der Antriebswelle in den verschiedensten Stellungen sachgemäß gewährleistet.

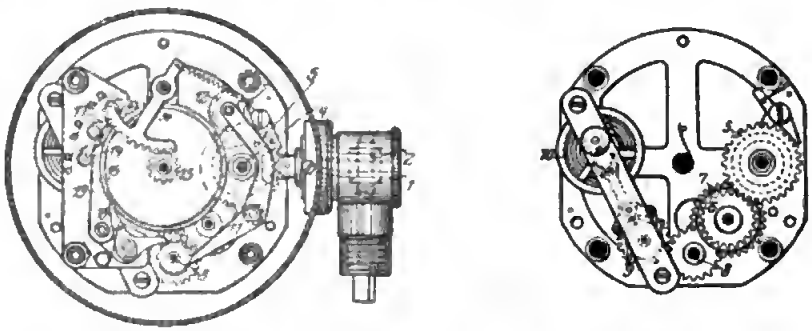


Abb. 18. Schema eines zwangläufigen Drehzahlmessers Bruhn.

Als weitere Vorteile sind zu erwähnen: Vorhandensein eines selbsttätigen Umschaltwerks für Rechts- und Linksgang, sowie eines Zählwerks zur Kontrolle der Arbeitsleistung; von letzterem kann natürlich abgesehen werden.

Dem steht als einziger Nachteil die sprungweise Einstellung bei starken Geschwindigkeitsänderungen gegenüber. Das Instrument ist zwar kostspieliger als andere, dafür aber fast unverwüstlich, wie vielseitige Erfahrungen bewiesen haben. Endlich sei noch auf seine Verwendbarkeit als Normalinstrument hingewiesen, worauf wir später zurückkommen. Die bereits oben erwähnten französischen Apparate dieser Art sind zwar ebenfalls als gut durchkonstruierte Präzisionsinstrumente anzusprechen, die äußerste Feinheit ihrer Einzelteile scheint ihnen aber nicht die Lebensdauer zu verleihen, die dem deutschen Fabrikat zuzeigen ist.

2. Ferndrehzahlmesser.

Die räumliche Verlegung der Flugzeugmotore außerhalb des Rumpfes, sowie neuerdings auch der Raummangel in Kleinflugzeugen führen zu der Aufgabe, die

zwischen der zu messenden Welle und dem Anzeiger befindliche Entfernung zu überbrücken. Es handelt sich dabei einerseits um Strecken bis zu 6 m und mehr. Daß dies mit beweglichen Wellen nicht gut lösbar ist, liegt auf der Hand. Im anderen Falle ist zwar die Entfernung klein; die infolge des Raummangels notwendigen Krümmungen der Welle führen aber wiederum dazu, von dieser Abstand zu nehmen. Die Aufgabe kann auf verschiedendste Weise behandelt werden; es sei jedoch gleich hier bemerkt, daß eine den Nahgeräten ebenbürtige Lösung bisher noch nicht erzielt wurde.

a) Ferndrehzähler mit starren Wellen.

Die Möglichkeit, Nockenwelle und Anzeiger durch eine starre Welle unter Benutzung von Kegelrädern und Kardangelenken zu verbinden, ist erst neuerdings ins Auge gefaßt worden. In Anbetracht der beim Fluge auftretenden Durchbiegung der in Frage kommenden Flugzeugteile handelt es sich um gar nicht unerhebliche Knickungen der Achse. Um diese unschädlich zu machen, muß die Welle mehrmals gebrochen sein, was leicht zu Störungen führt. Die Welle selber sowie die Lager beanspruchen wiederum feste Auflagen, so daß das ganze Gebilde einen unerwünschten Gewichtszuwachs darstellt. Um nun die Lager leichter gestalten zu können, ohne die Zuverlässigkeit herabzusetzen, wird man bemüht sein, nur geringe Tourenzahlen durch die Welle zu übertragen. Man benötigt somit ein untersetzendes Getriebe. Als Anzeiger können alle die früher erwähnten Geräte benutzt werden, die natürlich der herabgesetzten Tourenzahl anzupassen sind. Abgeschlossene Erfahrungen mit derartigen Übertragungen liegen noch nicht vor. Ihr Gewicht verweist sie lediglich auf den Gebrauch bei Großflugzeugen.

b) Elektrische Ferndrehzahlmesser.

Die bisher allein übliche Übertragsweise benutzt den elektrischen Strom. Unter den sich bietenden Möglichkeiten hat sich folgende bisher eingebürgert: Mit der

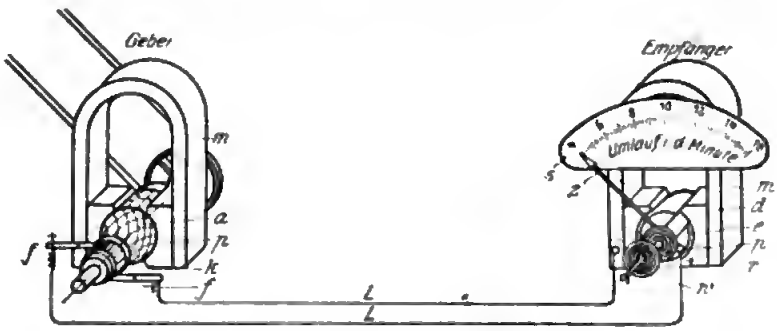


Abb. 19. Schema für Ferndrehzahlmesser.

Nockenwelle wird eine kleine Dynamo gekuppelt, die ihren Strom einem als Anzeiger dienenden Spannungsmesser zuführt. Allgemein verwendet man Gleichstrom und zwar deswegen, weil für den Anzeiger lediglich Drehspulgalvanometer in Frage

kommen; Hitzdrahtinstrumente besitzen zu große Trägheit und zeigen auch eine gewisse Temperaturabhängigkeit; Ferraris-Instrumente haben sich infolge man-

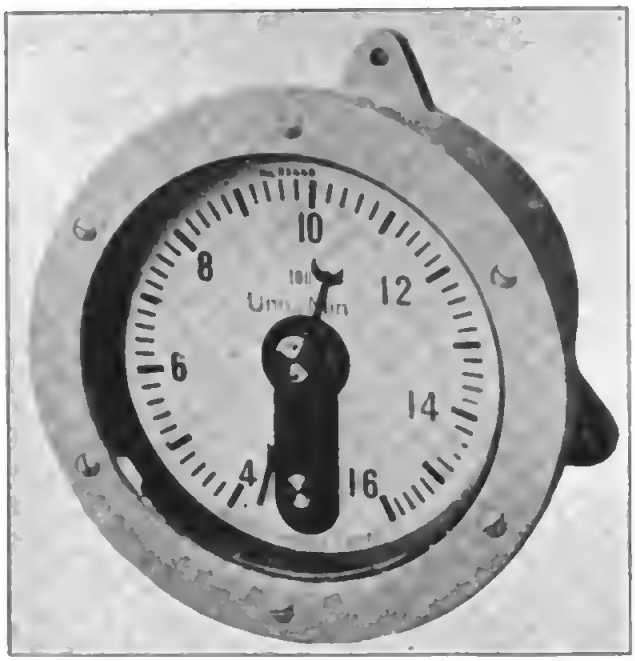


Abb. 20. Ferndrehzahlmesser (Morell). Anzeiger.

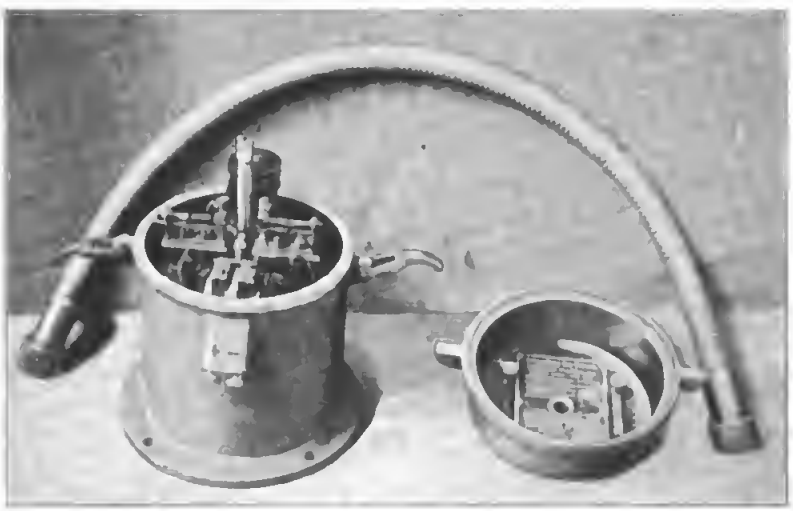


Abb. 21. Ferndrehzahlmesser (Morell). Geber.

gelnder Dämpfung im Fluge bisher nicht bewährt. Man könnte noch an Dynamometer denken, die aber bisher für genannten Zweck noch nicht eingeführt sind. Der Nachteil des Gleichstroms liegt darin, daß man Bürsten von Metall oder Kohle

benutzen muß, deren Übergangswiderstand namentlich bei längerer Benutzung die Genauigkeit der Anzeige beeinträchtigt. Ein weiterer Übelstand, der im übrigen auch für Wechselstrom in Betracht käme, ist der, daß das Material mit der Zeit magnetischen Änderungen unterliegt, die ebenfalls Fehler hervorrufen. Zieht man noch die durch Verwendung von Leitungsdrähten, Polklemmen (Thermoeffekte) möglicherweise auftretenden Fehlerquellen in Betracht, so ist ersichtlich, daß mit derartigen Geräten die Genauigkeit der früher behandelten Typen nicht erreicht

Abb. 22.
Ferndrehzahlmesser (Horn).

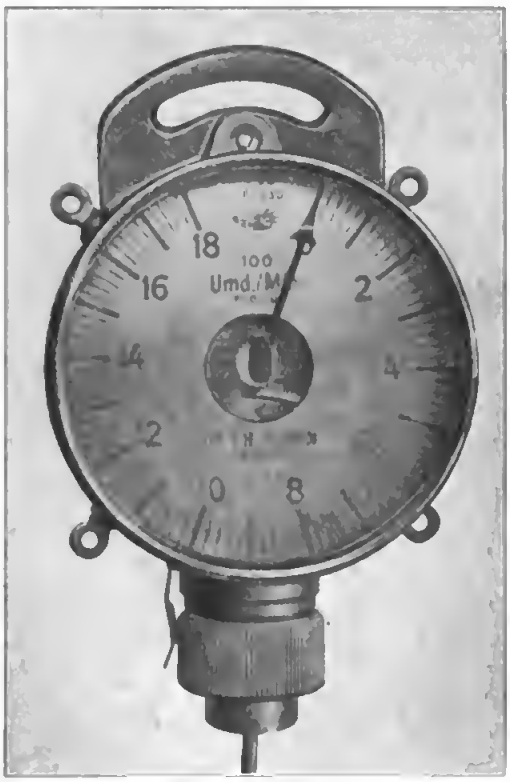


Abb. 23.
Ferndrehzahlmesser (Horn). Anzeiger.

werden kann. Solchen Anlagen wird neuerdings immer ein Regulierwiderstand beigegeben, der zur Beseitigung größerer Abweichungen unerläßlich ist. Die Genauigkeit wird etwa 40 Touren betragen, kann aber bei ungenügender Kontrolle weit ungünstiger werden. In Abb. 19 ist das Schema, in Abb. 20—24 die Ausführung einiger solcher Typen dargestellt. Abb. 25 und 26 enthalten die Charakteristik des Gebers (Morell), die Zeichnungen sind einer Arbeit des Dr.-Ing. Wilke entnommen.[1])

[1]) Automobil- und flugtechnische Zeitschrift „Der Motorwagen" Jahrg. 21 Heft 34 und 36 (1918).

Digitized by Google

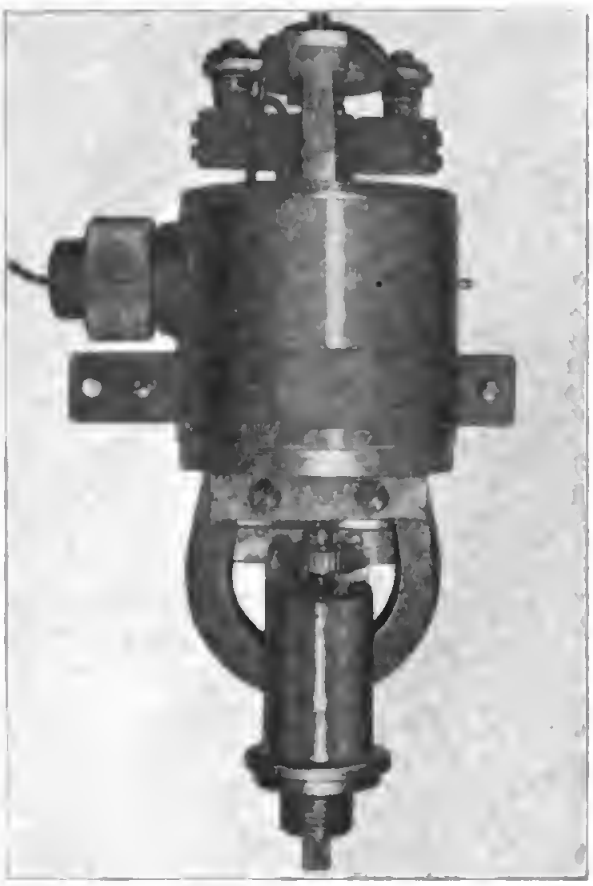


Abb. 24. Ferndrehzahlmesser (Horn). Geber.

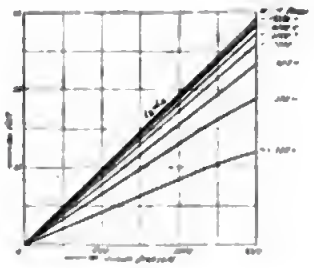


Abb. 25.
Spannungskurve des Ferndrehzahlmessers (Morell).
(Nach Dr. Wilke).

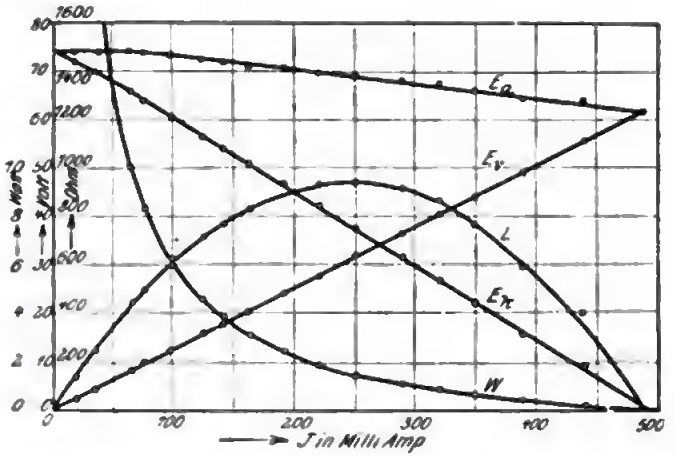


Abb. 26. Charakteristik des Ferndrehzahlmessers (Morell).
(Nach Dr. Wilke.)

Digitized by Google

Es bedeuten:

E_a die induzierte elektromotorische Kraft,
E_v den Spannungsabfall im Anker,
E_k die Klemmspannung,
W_a den Ankerwiderstand,

so daß

$$E_v = E_a - E_k = J \times W_a.$$

Der Ankerwiderstand des Gebers beträgt 124,4 Ohm, der Bürstenübergangswiderstand 0,6—0,7 Ohm; letzterer ändert sich jedoch bei Versehmutzung.

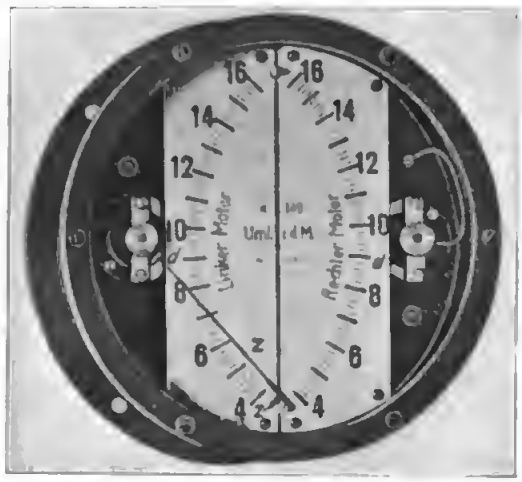


Abb. 27. Doppelanzeiger (Morell).

Einen Vorteil besitzen alle derartigen Anordnungen: sie ermöglichen nämlich die Zusammenlegung mehrerer Anzeiger zu einem Instrument. Ein solches Aggregat der Firma Morell für zwei Stationen findet man in Abb. 27. Zweifellos wird auf diese Weise an Übersichtlichkeit und Raum gewonnen. Trotzdem steht diesem Verfahren der Mangel gegenüber, daß bei Beschädigung der einen Station meistens die ganze Anlage ersetzt werden muß,

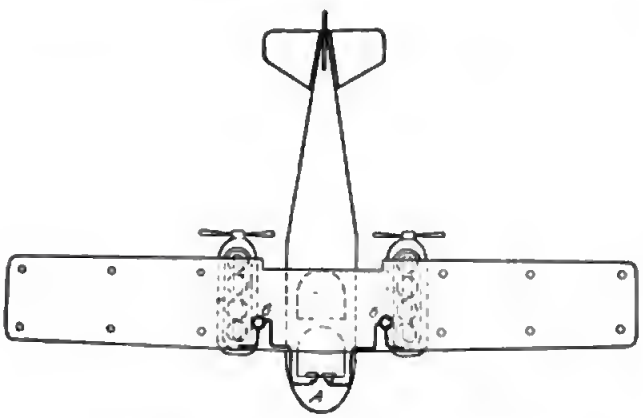


Abb. 28. Schema für Mehrfachdrehzahlmesser.

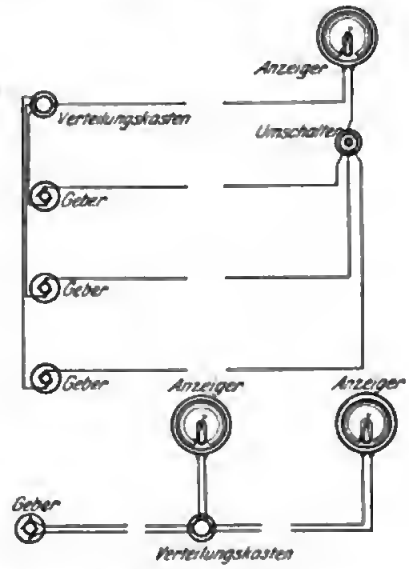


Abb. 29. Schaltschema für Mehrfachdrehzahlmesser.

da die Geber und Empfänger aufeinander geeicht sind. Die Eichung am eingebauten Instrument etwa nach Ersatz eines defekten Gebers ist schlecht durchführbar, da die Geber infolge Materialabweichungen nicht durchweg die gleiche Charakteristik besitzen. Da nun aber in Großflugzeugen bis zu vier und mehr

Digitized by Google

Stationen auftreten können, ist die Frage des kombinierten Anzeigers durchaus zeitgemäß. Es ist Sache der Technik, hier weitere Fortschritte zu erzielen. Vom Standpunkt des Piloten wäre ein Anzeiger erwünscht, der auf einer einzigen Skala mehrere konzentrische Zeiger besitzt, die den einzelnen Stationen entsprechen. Da die Betriebstourenzahl der Motore nahe zusammenfallen soll, ergibt sich bei einem regelmäßigen Betrieb eine Überdeckung sämtlicher Zeiger, was die Übersicht wesentlich erhöht. Auf diese Weise melden sich beginnende Betriebsstörungen dem Piloten bereits sehr zeitig.

Ein weiterer Vorteil entspringt der Möglichkeit, einem Geber zwei Anzeiger zuzuordnen, deren einer dem Piloten und deren anderer dem Maschinisten gegeben wird. Natürlich ließe sich letzterer auch durch einen Nahdrehzähler ersetzen. Die Zuleitungsweisen sind aus Abb. 28 und 29 zu ersehen.

c) Zwangläufige Ferndrehzahlmesser.

Solche sind bisher noch nicht ausgeführt. Man könnte an die Verbindung eines Brulin-Tachometers (Abb. 17) mit einer starren Welle denken; andererseits aber scheint es nicht unmöglich, auch auf elektrischem Wege Zwangläufigkeit zu erzielen. Gedacht ist dabei an einen mit der Nockenwelle zu verbindenden Kontaktgeber, der Stromstöße sendet. Ein Anzeigegerät, das auf dieser Basis beruht, existiert zur Zeit noch nicht, ist aber wohl denkbar.

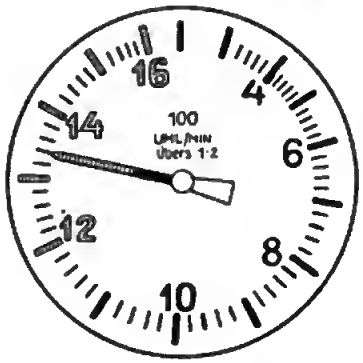
Dagegen ist eine andere Form in kleinem Maße bereits erprobt worden, ohne daß ein abschließendes Urteil bisher vorliegt. Es handelt sich um Vibrationstourenzähler, sog. Frequenzmesser der Firma Hartmann und Braun. Man benutzt solche bereits seit längerem bei stationären Anlagen. Sie beruhen darauf, daß mit der zu messenden Welle ein Wechselstromgenerator gekuppelt ist, der mit Hilfe einer Induktionsspule abgestimmte Zungen in Schwingungen versetzt. Solcher Zungen sind eine ganze Reihe auf engem Raum vereinigt, von denen jedesmal die mit der vom Geber diktierten Schwingungszahl in Resonanz befindliche anspricht, was sich durch optische Verbreiterung der Zungenspitze bemerkbar macht. Die physikalischen Bedenken gegen diese Anordnung laufen darauf hinaus, daß ein Flugzeug eine Anzahl Eigenschwingungen ausführt, die sich leicht auf die Zungen übertragen können, wodurch die Anzeige unverständlich wird. Ein weiteres Bedenken liegt darin, daß bei einer Genauigkeitsgrenze von 20 Touren eine ganz erhebliche Anzahl von Zungen benötigt wird, um das ganze Intervall der praktisch möglichen Drehzahlen zu umfassen. Aus diesen beiden Gründen und nicht zuletzt wegen des hohen Preises derartiger Einrichtungen ist bisher von einer Einführung abgesehen worden.

Damit ist die Möglichkeit von Ferndrehzahlmessern unter Benutzung der Elektrizität noch nicht erschöpft. Theoretisch kann man folgendes sagen: Jede Gleichung der Wechselstromtechnik, die die Tourenzahl enthält, liefert ein Mittel zur Messung derselben. Welche man nun wählen wird, hängt von der Empfindlichkeit ab, mit der die Gleichung auf eine Variation der Tourenzahl reagiert. Es ist nicht ausgeschlossen, daß man auf diesem Wege auch zu reinen zwangläufigen Verfahren gelangt. So stellt z. B. jeder Oszillograph eine gewisse Lösung dar.

Digitized by Google

3. Das Schaubild.

Bei keinem Instrument ist das gewohnheitsgemäße Erfassen der Anzeige so wichtig wie hier. Die von der Flugzeugmeisterei herausgegebene Normalisierung des Zifferblattes für normale Typen ist in Abb. 30 abgebildet. Die hier gewählte



Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes ca. 92 mm, Durchmesser des inneren Teilstrichkreises 70 mm. Kurze Striche: Länge 4 mm, Stärke 1,0 mm. Lange Striche: Länge 7 mm, Strichstärke 1,3 mm. Schwarzer Grund, weiße Zahlen und Zeiger. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

Abb. 30. Normalzifferblatt für Drehzahlmesser.

Größe der Skala sowie der Bezifferung hat sich fast durchweg eingebürgert und sollte möglichst auch in Zukunft innegehalten werden. Es ist keineswegs gleichgültig, ob die Bezifferung rechts- oder linksläufig gewählt wird, ebensowenig wie man bei Uhren nicht von der gebräuchlichen Anordnung abgehen wird. Die gewählte Rechtsläufigkeit und die Verlegung des Nullpunktes nach oben entspricht der Bezifferung der Uhren.

4. Zubehör.

Die Abb. 31 ff. enthalten einige Einzelzeichnungen von Teilen, insonderheit die Ausführung biegsamer Wellen und ihrer Anschlüsse. Solche Wellen sind

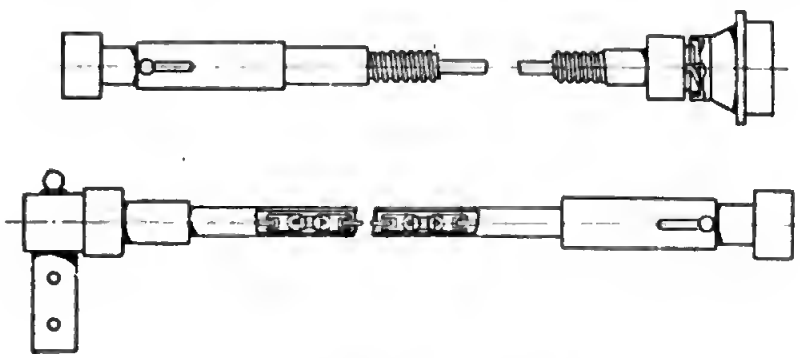


Abb. 31. Biegsame Wellen (Morell).

in verschiedener Form im Gebrauch. Die Ausführung der Gliederkette als des empfindlichsten Teiles schwankt bei den einzelnen Firmen. Die Beanspruchung ist eine derartige, daß nur hervorragend durchgearbeitete

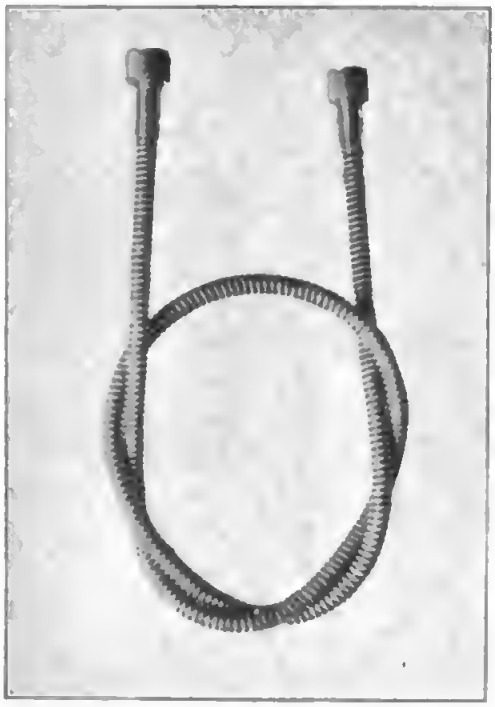


Abb. 32. Biegsame Welle.

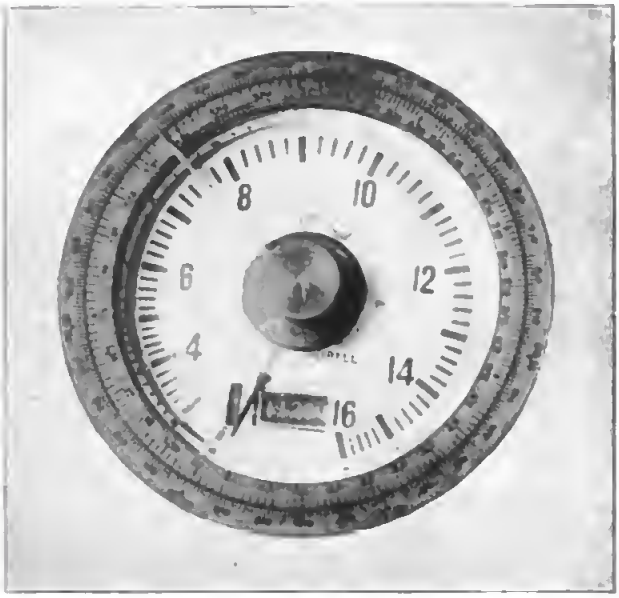


Abb. 34. Drehzahlprüfstand (Morell).

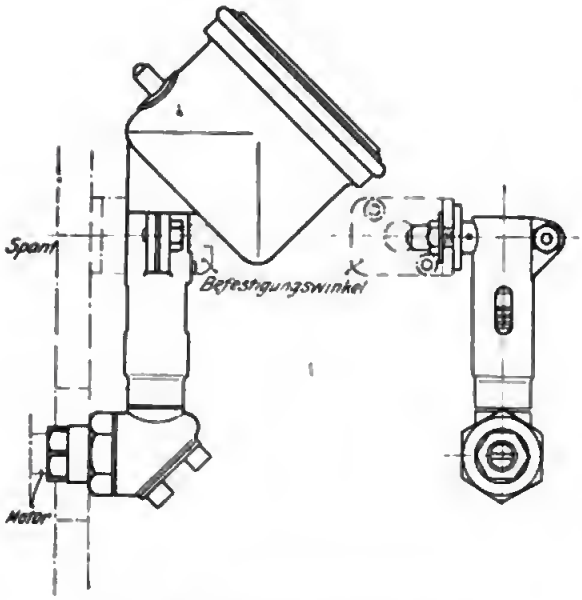


Abb. 33. Anschlußstück (Morell).

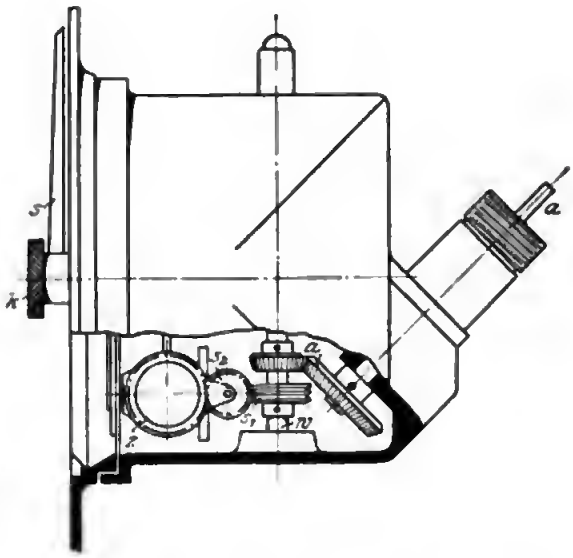


Abb. 35. Inneres des Prüfstandes (Morell).

Digitized by Google

Abb. 36. Universalprüfstand Bruhn.

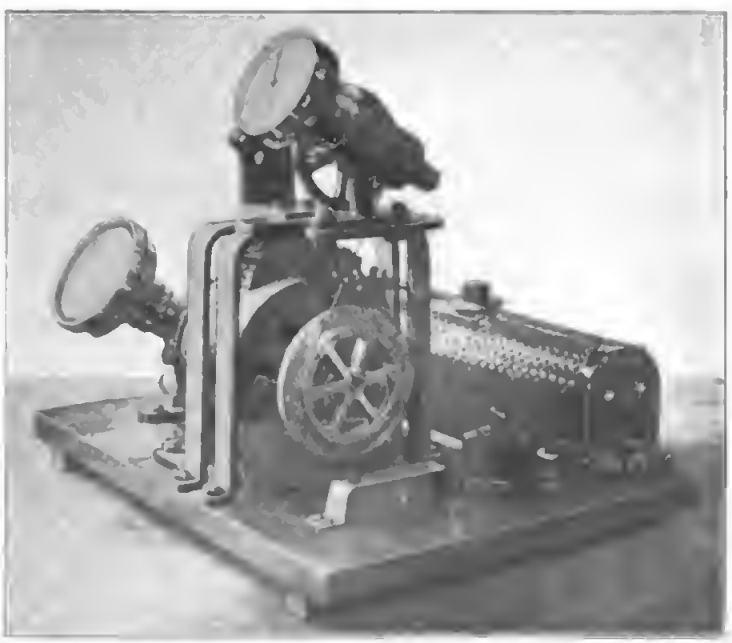


Abb. 37. Prüfstand für Drehzahlmesser (Deuta).

Digitized by Google

Formen, die einen großen Widerstand gegen Verdrillung gewährleisten, sich bewährt haben. Abb. 33 zeigt ein Anschlußstück, das eine biegsame Welle vermeidet.

Für die Prüfung und Eichung von Drehzahlmessern sind eine Anzahl von Prüfständen im Gebrauch. Handelt es sich um eine gelegentliche Kontrolle, so kann man mit dem Morell-Prüfstand Abb. 34 und 35 auskommen. Dieser setzt einen konstanten Betriebsmotor voraus. Man stoppt die mit Hilfe eines Zählwerks festgestellten Umläufe (etwa 1000) mit einer Stoppuhr ab, errechnet an Hand des am Prüfstand angebrachten Rechenzeigers (Abb. 34) die Tourenzahl und

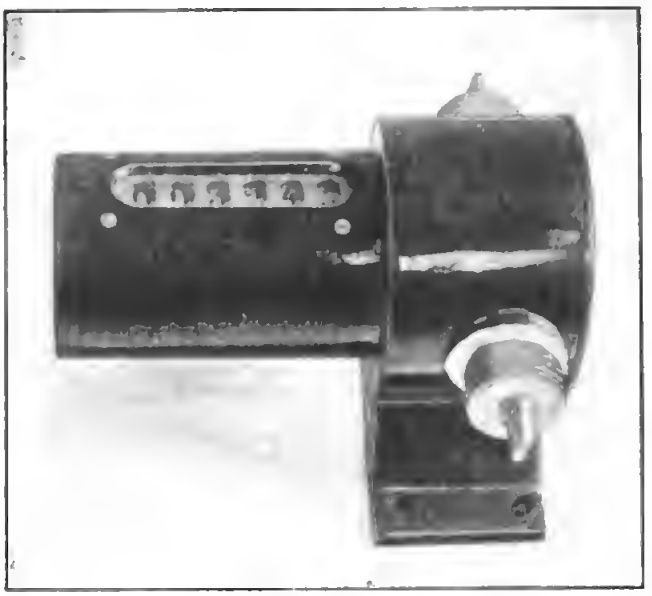


Abb. 38. Zählwerk.

vergleicht sie mit der indizierten. Das Instrument prüft sich also gewissermaßen selbst. Noch zweckmäßiger und einfacher in der Bedienung erscheint der Universalprüfstand Bruhn Abb. 36. Dieser besteht im wesentlichen aus einem zwangläufigen Tachometer, wie oben beschrieben, mit einer Zwischenschaltvorrichtung, die einerseits an den Motor, andererseits an den Prüfling gelegt wird. Die Zwangläufigkeit dieses Prüfstandes gewährt ohne jede weitere Rechnung oder Kontrolle eine exakte Eichung. Für Masseneichungen im Laboratorium ist das in Abb. 37 gegebene Aggregat Deuta sehr geeignet. Es besitzt einen Elektromotor mit Regulierwiderstand, der ein augenblickliches Einstellen über die ganze Skala ermöglicht. Diese Form existiert in mehrfacher Ausführung. Der Vollständigkeit halber sei noch ein einfaches Zählwerk abgebildet, wie es für Abstoppzwecke oder auch zur Kontrolle der Leistung von Motoren gebraucht wird (Abb. 38).

Digitized by Google

B. Benzinuhren.

1. Allgemeine Methoden.

Das Bedürfnis, während des Fluges fortlaufend über die noch zur Verfügung stehende Menge Betriebsstoff unterrichtet zu sein, führt zu der Forderung nach einem brauchbaren Benzinstandmesser. Würden die Tanks vor dem Fluge jedesmal vollständig aufgefüllt und wäre man über die Verbrauchsmenge im klaren, so wäre die Borduhr gleichzeitig die einfachste Benzinuhr. Das ist nun aber nur selten der Fall. Einerseits vermeidet man es, bei kürzeren Flügen das Flugzeug unnütz zu belasten und richtet danach die Menge des mitzunehmenden Benzins ein; andererseits ist die pro Zeiteinheit verbrauchte Menge Benzin selbst bei gleichen Motoren sehr verschieden, da sie von der Schwimmereinstellung abhängt, diese aber wieder eine Funktion des spezifischen Gewichts, der Viskosität und der Temperatur des Benzins ist. Die erwähnte Art des Messens kann also nur eine ganz oberflächliche Schätzung ergeben. Nun ist aber häufig gerade die Kenntnis der Benzinmenge kurz vor der Neige von großer Bedeutung, und die Meldung: „mit dem letzten Tropfen gelandet" ein Zeichen eines guten Piloten und — einer tüchtigen Benzinuhr.

Wir haben zu unterscheiden zwischen Benzintanks mit Überdruck (Haupttanks) und solchen mit normalem Druck (Falltanks, Hilfstanks). Nach diesen Gesichtspunkten unterscheiden sich auch die Uhren.

a) Schaugläser.

Anfänglich verwandte man für beide Zwecke Schaugläser in Form von seitlich angebrachten Glasrohren, deren oberer Teil mit der über dem Benzin befindlichen Atmosphäre kommunizierte. Sie haben sich auf die Dauer nicht bewährt, einmal weil sie leicht zerbrechen und insofern eine Gefahrenquelle für das Flugzeug bilden; ferner weil sie häufig unbequem abzulesen sind, endlich aber, weil sie infolge ihrer seitlichen Anbringung bei Schieflage des Flugzeuges den Inhalt falsch anzeigen. Man ist deshalb ganz von ihnen abgegangen.

b) Schwimmer.

Das Prinzip, das zur Zeit fast ausschließlich in Gebrauch ist, benutzt einen in Führungen laufenden Schwimmer (Abb. 39), der möglichst in der Mittelachse des Tanks untergebracht ist und darum auf Schräglagen nur wenig anspricht. Dies Verfahren ist sowohl bei offenen wie bei Drucktanks anwendbar; nur ist bei letzteren die Übertragung zum Anzeigeteil etwas schwieriger, da sie völlig luftdicht sein muß. Das Versagen des Benzindrucks ist erfahrungsgemäß in den weitaus meisten Fällen auf Undichtigkeiten in der Benzinuhrübertragung zurückzuführen. Die Skala selber liegt bei diesen Instrumenten im Druckraum; um wenigstens diesen Teil gegen Undichtwerden zu schützen, sind von seiten der Entente Versuche gemacht, durch magnetische Übertragung künstliche Dichtungsstellen überhaupt zu vermeiden (Abb. 40). Die Ablesung einer derartigen Uhr ist jedoch nicht sehr genau, da die Magnetnadel infolge von Erschütterungen leicht in Schwingungen gerät.

Digitized by Google

α. Übertragung durch Schnüre und Bänder.

Die Übertragung vom Schwimmer zum Anzeiger erfolgt fast allgemein durch seidene Schnüre, die sich auf Laufrädern aufwickeln. Unsere Gegner haben jedoch auch andere Mittel angewandt. So ist bei einem Apparat diese Schnur als eine Art Bandmaß ausgebildet, das sich hinter einem Fenster vorbeibewegt. Diese Lösung

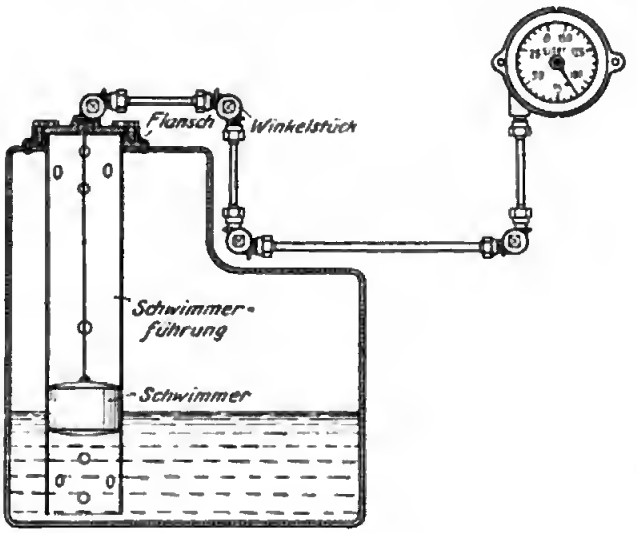


Abb. 39. Schema einer Benzinuhr mit Schwimmer (Morell).

ist deswegen nicht vorteilhaft, weil eine Eichung nachträglich unmöglich ist; außerdem ist der Ort der Anhringung des Anzeigers festgelegt, und zwar an einer Stelle, die für die Ablesung nicht sehr günstig ist. Diese Uhr scheint sich auch nicht eingehürgert zu haben.

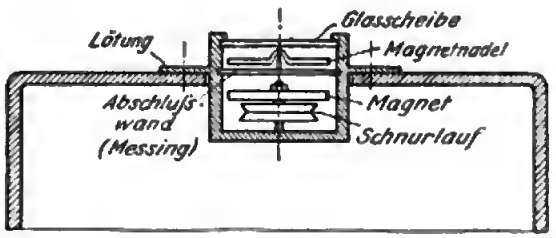


Abb. 40. Magnetische Übertragung der Anzeige.

β. Übertragung durch Arme.

Statt den Schwimmer in einer geradlinigen Führung laufen zu lassen, hat man ihn bei einer anderen Art von Uhren, wie sie auch bei den Tanks von Lokomotiven benutzt wird, an einem längeren Metallarm angebracht, der sich in einem Gelenk drehen kann; bei leerem Tank hängt der Arm senkrecht nach unten, bei vollem senkrecht nach oben. Diese Drehung wird direkt oder mit Hilfe eines Magneten auf einen Zeiger über vertikaler Skala übertragen. Die Skala wird infolgedessen

nicht voll ausgenutzt, da sie nur etwa die Hälfte des Kreisumfanges ausfüllt; häufig ist sogar eine Doppelskala vorgesehen, was widersinnig ist, aber in der Natur der Konstruktion liegt. Da bei einem hohen Tank der Arm ziemlich lang wird, muß für ein seitliches Ausschwingen desselben genügend Platz vorhanden sein, d. h. der Tank muß alsdann auch eine gewisse Breite besitzen. Das besagt, daß die Form des Tanks an bestimmte Ausmaße gebunden ist, was die Brauchbarkeit dieser Benzinuhr in Frage stellt. Für kleine, etwa Hilfstanks von einigermaßen würfeliger Form mag diese Art immerhin verwendbar sein. Bei der sehr engen Skala ist jedoch eine genauere Ablesung kaum möglich. Außerdem ist diese Anordnung lageempfindlich.

γ. Übertragung durch Spindeln.

Eine andere Art der Übertragung der Schwimmerstellung zu einer oberhalb angebrachten, liegenden Uhr besteht darin, daß der in vertikalen Schienen laufende Schwimmer eine ebensolche Spindel nach Art eines Drillbohrers dreht, die wieder einen Zeiger direkt oder mit magnetischer Übertragung betätigt (Abb. 41). Hier zeigt sich der Fehler, daß der Schwimmer leicht hängen bleibt. Außerdem liegt in der Anpassung dieses Geräts an verschiedene Tanksorten eine Schwierigkeit; die Länge der Spindel ist nämlich durch die Tankhöhe gegeben; auf diese Länge muß die Spindel gerade einen Umgang besitzen, d. h. die Spindel ist für jeden Tank besonders herzustellen. Ein geistreicher Fortschritt zur Behebung dieses Mißstandes ist dadurch geschehen, daß man die Spindel nicht starr ausführte, sondern durch ein gedrilltes Stahlband ersetzte, dessen Drillung um einen Umgang sich selbständig einstellt, sobald das untere Ende durch eine Klammer in der verlangten Höhe fixiert wird. Aber auch diese Form ist nicht eingeführt worden; wohl deswegen nicht, weil sie wieder einen ganz bestimmten Platz für den Anzeiger vorsieht.

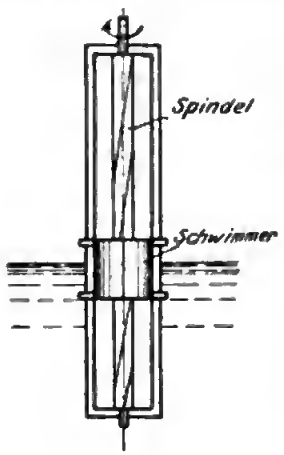


Abb. 41.
Benzinuhr mit Spindel.

δ. Übertragung durch elektrische Widerstände.

Schließlich hat man noch eine elektrische Übertragung der Schwimmerbewegung versucht; dabei ist die eine Führungsstange des Schwimmers, gewöhnlich die mittlere, als Widerstandsspirale ausgebildet, während eine andere Führung als Zuleitung und der Schwimmer selber als Gleitkontakt zwischen beiden dient. Da der Betriebsstoff als Isolator anzusehen ist, kann man das ganze Gebilde direkt in ihn hineinbringen. Der elektrische Widerstand kann alsdann mit der Brückenmethode oder anderswie gemessen werden und gibt ein Maß für die Stellung des Schwimmers. Die Nachteile dieser Anordnung bestehen in der Unvollkommenheit des Kontaktes und dem häufigen Klemmen des Schwimmers; auch ist die Gefahr einer Funkenbildung nicht ausgeschlossen. Neuerdings ist diese Idee von unseren Gegnern wieder aufgegriffen worden.

Digitized by Google

e) Schwimmeruhren mit einheitlicher Anzeige.

Alle genannten Uhren verwenden einen Schwimmer, und es ist nicht in Abrede zu stellen, daß derartige Konstruktionen manche Vorteile besitzen. Ein Nachteil trifft aber — neben ihrem ziemlich hohen Gewicht — alle, das ist der Umstand, daß sie immer nur für eine ganz bestimmte Tankform verwendet werden können oder neu geeicht werden müssen. Dazu gehört dann meistens auch ein Austausch des Schnurrades. Noch störender ist aber der Umstand, daß bei allen erwähnten Formen die Teilung keineswegs linear ist, sondern von der Tankform abhängt. Daß dies ein grundsätzlicher Fehler ist, sieht man aus beistehender Abbildung (Abb. 42) der Skala einer solchen Uhr. Hier läuft der Tank nach unten zu spitz aus; die Teilung von 0 bis 100 Liter füllt etwa die eine Hälfte der Skala, während die Marken von 100 bis 400 Liter sich auf der anderen Hälfte eng zusammendrängen. Ein Pilot, der auf diese Uhr angewiesen ist, kann bei der angedeuteten Zeigerstellung leicht in Versuchung kommen, zu glauben, er verfüge noch über die Hälfte des Betriebsstoffes, während er tatsächlich schon mehr als vier Fünftel verbraucht hat. Notlandungen, namentlich bei kriegerischen Unternehmungen unbeliebt, sind die Folgen dieser Fehlkonstruktion.

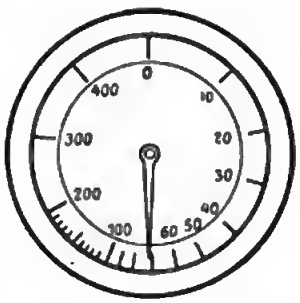


Abb. 42. Fehlerhafte Skala einer Schwimmeruhr.

Man hat versucht, diesem Übelstand abzuhelfen. Eine praktische Erprobung der diesbezüglichen Vorschläge liegt indessen noch nicht vor. Da immerhin Wege gefunden wurden, die zu einer Verbesserung führen dürften, sollen sie im folgenden kurz mitgeteilt werden.

α. Linearmachung am Werk.

Läßt man Schwimmer, Schnur und Schnurlauf bestehen, so muß die Linearmachung am Zeigerwerk erfolgen. Das kann dadurch geschehen, daß man mit

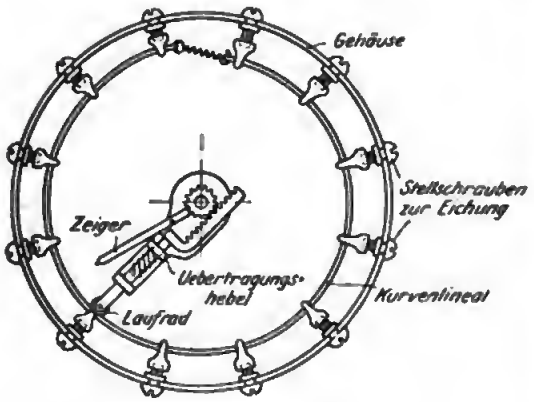


Abb. 43. Schema einer Benzinuhr mit linearer Teilung (Franz).

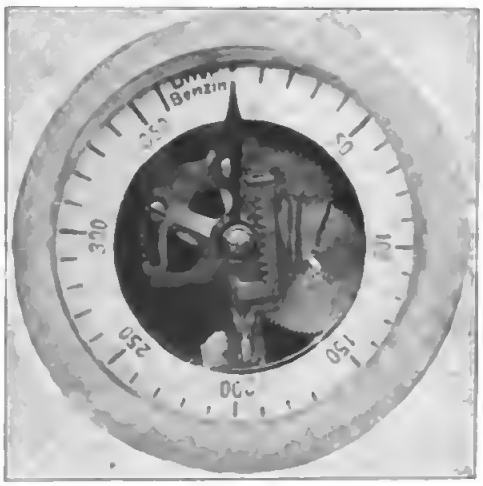


Abb. 44. Benzinuhr (Franz).

dem Schnurlauf einen auswechselbaren Spiralgang verbindet, in dem ein Hebel geführt ist. Durch bestimmte Formgebung des Spiralganges läßt sich jede beliebige Funktion darstellen. An Stelle des Spiralgangs kann auch eine Kurvenscheibe benutzt werden; die Auswechselung ist auf diese Weise ebenfalls leicht zu erzielen. Noch leichter wird sie, wenn man eine Art negativer Kurvenscheibe nach Art eines verstellbaren Kurvenlineals in den äußeren Rand der Uhr legt (Abb. 43 und 44) und auf ihr ein Führungsrädchen abrollen läßt. Hierbei kann die Funktion des Kurvenlineals außen an der Uhr eingestellt werden, so daß eine Auswechselung einzelner Teile für verschiedenartige Tanks gar nicht zu erfolgen braucht. Eine solche Uhr, die von Herrn E. Franz, Charlottenburg, angegeben wurde, ist für Tanks jeder Größe und Form verwendbar; wahrscheinlich dürfte die Dichtung Schwierigkeiten bereiten. Ein weiterer Vorschlag geht darauf aus, die Schnurscheibe selber nicht kreisförmig, sondern spiralig zu gestalten; diese Lösung ist wohl deshalb der früheren unterlegen, weil die Auswechselung schwieriger ist und eine genauere Eichung nicht ganz einfach sein dürfte.

β. Linearmachung an der Übertragung.

Ein radikalerer Schritt auf diesem Wege ist der, daß man den Schwimmer nebst Übertragung organisch zum Tank schlägt und die Linearmachung in diese Teile verlegt. Das kann einmal durch einen Doppelschnurlauf geschehen, der in die Schnurleitung eingeschaltet ist und direkt im Tank eingebaut wird. Auf einen solchen Tank läßt sich dann eine Einheitsuhr aufsetzen, die für alle Typen entweder gleich wird oder zum mindesten nurmehr einige wenige Normalgrößen aufweist.

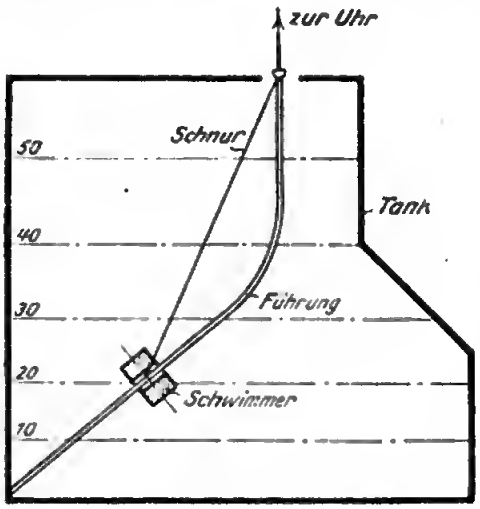


Abb. 45. Lineare Schwimmerführung.

γ. Linearmachung am Schwimmer.

Schließlich kann man auch die Schwimmerführung so gestalten, daß eine lineare Drehung der Schnurscheibe resultiert (Abb. 45). Man hat alsdann nur nötig, diese Führung nicht geradlinig, sondern kurvenförmig anzuordnen; die Kurve selber läßt sich auf einfache Weise aus einer einmaligen Ausmessung jedes Tanktyps ermitteln. Auch hier ist die Schwimmerführung integrierender Bestandteil des Tanks und müßte von der Tankfirma gleich mitgeliefert werden. Erheblich verzweigte Tankformen lassen sich jedoch hierbei nicht verwenden.

δ. Linearmachung durch Druckschwimmer.

Einen weiteren Schritt kann man nach Lachmann dadurch tun, daß man durch den Schwimmer nicht das Flüssigkeitsniveau, sondern den Flüssigkeitsdruck mißt,

d. h. den Auftrieb (siehe Abb. 46). Der Schwimmer erhält in diesem Falle nur eine ganz geringe Bewegungsfreiheit; der zur Messung nötige Gegendruck wird durch eine in der Uhr untergebrachte Feder erreicht. Verteilt man das Schwimmervolumen über die ganze Flüssigkeitshöhe und gibt ihm eine nach Maßgabe des Tanks erreehnete Form, so kann man unschwer Proportionalität zwischen Flüssigkeitsmenge und Meßdruck erzielen. Die Schwimmereinrichtung wäre auch hier Sache der Tankfirma. Dies Verfahren erscheint von allen hier behandelten als das sachlichste. Ein Bedenken liegt darin, daß der Meßweg klein wird, so daß die thermische Ausdehnung des Materials bereits eine Rolle spielen könnte. Immerhin ließe sich dies durch geeignete Konstruktion umgehen. Übrigens ist die Unterbringung der Uhr bei diesem Verfahren nicht mehr ganz willkürlich, was seiner Einführung hinderlich sein könnte.

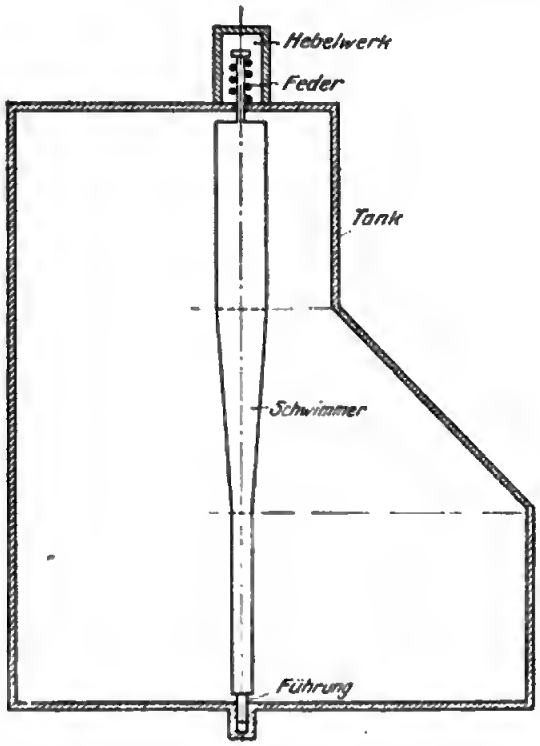


Abb. 46. Druckschwimmer nach Lachmann.

d) Druckuhren.

Die Idee, nicht die Flüssigkeitshöhe, sondern den hydrostatischen Druck, und zwar manometrisch zu messen, ist auch früher schon verfolgt worden. Ohne Schwierigkeit läßt sie sich bei Falltanks, d. h. bei Tanks ohne Überdruck, anwenden. Eine primitive Methode, die von Hirth wohl als erste im Flugzeug verwandt wurde, besteht in folgendem (Abb. 47): Mit Hilfe eines Schlauches wird Luft durch ein Rohr geblasen, das senkrecht im offenen Tank angeordnet ist und fast bis auf den Boden reicht. Ist die Flüssigkeitssäule aus dem Rohr verdrängt, so entweicht die Luft in Blasen. Der Luftdruck im Schlauch, der somit einen bestimmten Wert nicht überschreiten kann

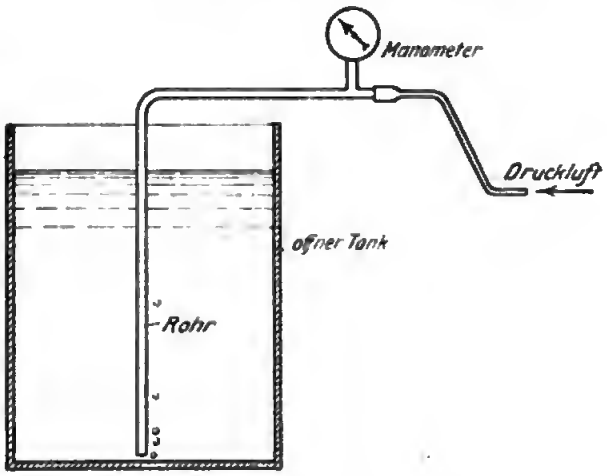


Abb. 47. Benzinuhr mit Druckluft nach Hirth.

und durch ein abgezweigtes Manometer gemessen wird, entspricht der Flüssigkeitshöhe im Tank. Der nötige Luftdruck wurde damals mit dem Munde erzielt; es ist jedoch nicht unmöglich, ihn von anderer Stelle zu entnehmen, etwa aus der Benzinpumpe. Der Staudruck reicht für diesen Zweck leider nicht aus, da er unter gewöhnlichen Verhältnissen nur wenige Zentimeter beträgt. Wollte man ihn benutzen, so müßte man das ganze System umkehren und mit Hilfe eines Saugrohres von hohem Beiwert (Venturirohr, siehe Kap. Fahrtmesser) Unterdruck im Falltank erzeugen, was jedoch andere Nachteile hat. Das Verfahren ist noch nicht praktisch erprobt worden.

Die Übertragung dieser Methoden auf Druektanks dürfte schwierig sein.

e) Strömungsuhren.

Eine weitere Möglichkeit einer Benzinuhr liegt in der Verwendung eines Strömungsmessers nach Art einer Gasuhr, der in die Benzinleitung eingeschaltet wird und direkt die verbrauchte Menge Benzin angibt. Ein solches Gerät hätte den schätzenswerten Vorteil, daß es von der Tankgröße und Form vollständig unabhängig ist und auch auf Lageänderungen nicht reagiert. Ganz abgesehen aber davon, daß es an einem geeigneten Messer dieser Art fehlt, der zuverlässig genug ist, bedingt diese Meßmethode außerdem noch die Kenntnis der anfangs vorhandenen Betriebstoffmenge; denn erst die Differenz zwischen dieser und der verbrauchten ergibt die noch vorhandene Menge, auf die es allein ankommt. Diese Differenzbildung könnte mechanisch geschehen, etwa in der Art, daß der Benzinmesser vor dem Start auf die Anzahl der vorhandenen Liter eingestellt würde und während des Gebrauchs rückwärts zählte. Wie schon gesagt, sind bisher Flüssigkeitsmesser nicht exakt genug, um bei Verfolg der angegebenen Methode auch die letzten Liter noch einwandfrei anzuzeigen.

f) Benzinwagen.

Eine letzte Möglichkeit bietet sich noch in der Wägung des Benzintanks. Würde man diesen etwa an einer Federwage aufhängen, so könnte man unmittelbar an ihr, unabhängig von Form und Größe des Tanks, die Anzahl der noch vorhandenen Liter Benzin ablesen. Aussicht auf Erfolg dürfte dieses Verfahren nur bei kleinen Tanks haben, nicht bei Haupttanks, da bei letzteren infolge ihrer besonderen Form und Unterbringung eine Federaufhängung kaum möglich ist; außerdem stören die Beschleunigungen.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß die bisher übliche Form der Benzinuhren so lange noch die beste ist, wie es nicht gelingt, eine Einheitsuhr nach oben angeführten Gesichtspunkten zu schaffen.

2. Das Schaubild.

Noch eine andere Frage hat für die Benzinuhren Bedeutung gewonnen, nämlich die Anordnung der Skala. Die Aufgabe besteht darin, bei großer Kapazität des Tanks (200 Liter und mehr) auch noch die letzten Liter mit Sicherheit ablesen zu können. Als erste Lösung bietet sich die Möglichkeit, die Skala nicht linear,

Digitized by Google

sondern bei abnehmender Benzinmenge wachsend zu wählen, was technisch unschwer durchführbar wäre. Man beginge dann aber gerade den Fehler, vor dem bereits

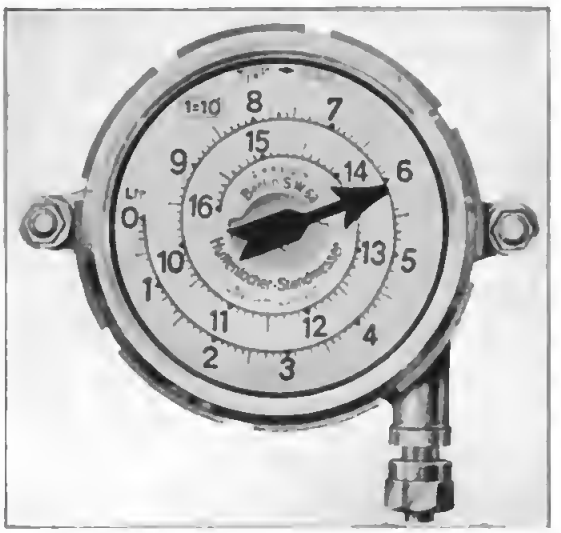


Abb. 48. Benzinuhr-Skala (Huttenlocher).

Abb. 49. Benzinuhr-Skala (Mars).

früher gewarnt worden ist: der Pilot unterliegt leicht einer Täuschung über seinen Benzinvorrat. Deshalb ist diese Lösung grundsätzlich zu verwerfen. Als Ausweg

bietet sich die Wahl einer möglichst ausgedehnten Skala, und es entsteht die Aufgabe, diese zweckmäßig auf einer beschränkten Kreisfläche unterzubringen. Die einschlägigen Firmen ersahen hierin eine ihrer Hauptaufgaben. An Lösungen wurden folgende herausgebracht:

a) Die Skala wird spiralförmig gewunden (Huttenlocher-System; Abb. 48). Die anzeigende Pfeilspitze ist bei ihrer Drehung radial beweglich. Die Skala

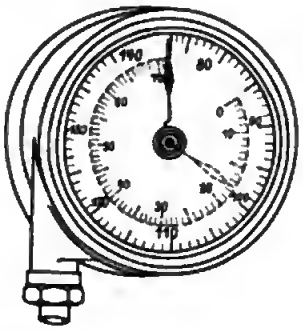


Abb. 50.
Benzinuhr-Skala (Maximall).

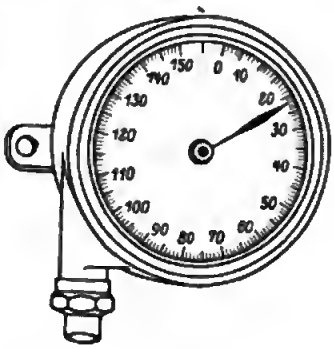


Abb. 51.
Benzinuhr-Skala (Maximall).

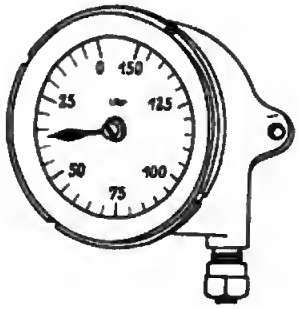
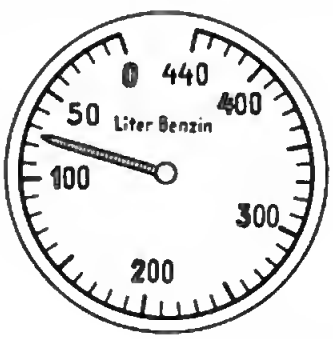


Abb. 52.
Benzinuhr-Skala (Morell).

wird auf zwei Umläufe verteilt. Die technische Durchführung der Idee ist einfach und zuverlässig, die Ablesbarkeit im allgemeinen gut; bei schiefer Aufsicht können durch Parallaxwirkung Unsicherheiten in der Ablesung eintreten.



Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes ca. 80 mm, Durchmesser des äußeren Teilkreises 77 mm. Kurze Striche: Länge 45 mm, Stärke 0,5 mm. Lange Striche: Länge 6 mm, Stärke 1,0 mm. Größe der Zahlen: 6 mm, Strichstärke 1,0 mm. Schwarzer Grund, weiße Zahren und Zeiger. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

Abb. 53. Normalzifferblatt der Benzinuhr.

b) Die Skala wird in drei konzentrische Kreise zerlegt (Marsuhr; Abb. 49). Die anzeigende Spitze dreht sich nach jedem Umlauf um 90° und weist auf den jeweilig zu benutzenden Ring. Die Skala wird auf diese Weise zwar stark gedehnt, die Ablesung setzt aber die Erkennbarkeit der Zahlen voraus; ein instinktives Erfassen ist nicht möglich. Die erwünschte Linearität der Teilung ist zwar erfüllbar, kommt aber bei der Umständlichkeit des Schaubildes nicht zur Wirkung.

c) Die Skala wird in zwei konzentrische Kreise zerlegt (Maximall; Abb. 50), auf denen je ein Zeiger spielt. Bei gefülltem Tank wandern beide gemeinsam herum und sind auf dem äußeren Kreise abzulesen; nach Verbrauch der Hälfte

des Betriebsstoffes bleibt der äußere Zeiger stehen, während der innere auf seinem Kreise weiter wandert. In letzterer Phase ist also zu beachten, daß von den zwei Anzeigen nur die des kleineren Zeigers, der meist rot ausgeführt ist, Sinn hat; hierin liegt ein Moment der Unsicherheit. Im übrigen ließe sich dieses dadurch beseitigen, daß man die falsche Anzeige durch Kulissen oder auf anderem Wege verdeckt.

Wie man aus dieser Zusammenstellung erkennt, sind alle die verschiedenen Methoden zur Dehnung der Skala nicht unbedenklich; zum mindesten erfüllen sie nicht unsere grundsätzliche Forderung nach eindeutiger instinktiver Erfassung. Trotzdem einzelne der erwähnten Formen jahrelange Erprobung aufweisen können, ist doch neuerdings wieder der Wunsch nach einer einfachen Skala (Abb. 51 und 52) rege geworden. Auch hier zeigt sich wieder von seiten des Fliegers die Bevorzugung der Einfachheit vor der Präzision. Die von der Flugzeugmeisterei vorgenommene Normalisierung der Skalen (Abb. 53) hat diesem Wunsche Rechnung getragen.

3. Der Flansch.

Endlich ist noch der Vereinheitlichung des Benzinuhrflansches zu gedenken. Da die Benzinuhr eng mit dem Tank verknüpft ist, ist eine gleichmäßige Ver-

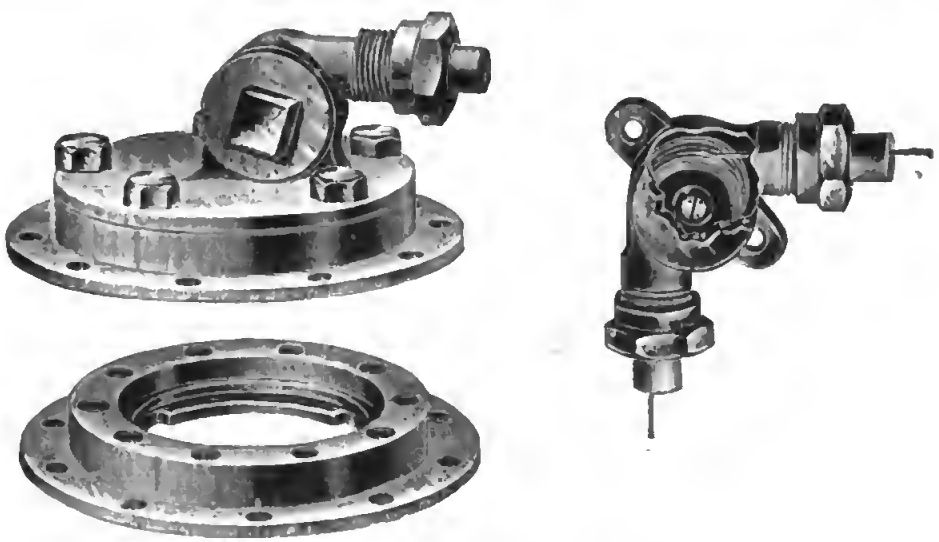


Abb. 54. Benzinuhrflansch Maximall.

wendbarkeit verschiedenartiger Fabrikate nur dann möglich, wenn die verknüpfende Stelle, also der Flansch, völlig einheitlich ausgeführt wird. Hier zeigten sich Schwierigkeiten patentrechtlicher Art. Die von den beiden führenden Firmen (Maximall und Huttenlocher) herausgebrachten Flansche weichen stark voneinander ab; beide besitzen ihre Vorzüge und Nachteile. Wenn auch letzthin durch die Flugzeugmeisterei ein der Maximalform angepaßtes Modell der Normalisierung zugrunde gelegt wurde, so soll damit der anderen Form ihre Zweckmäßigkeit nicht

abgesprochen werden. Es sollen nur kurz die für eine Lösung wichtigen Fragen berührt werden: Absolute Dichtigkeit; Lötungen nur an den Teilen, die dem Tankhersteller zur Verfügung stehen; Material- und Gewichtsersparnis; bequeme Abnehmbarkeit; Möglichkeit der Fixierung des Flansches unter beliebigem Winkel; Bruchsicherheit etwa benutzter Federn.

Die beiden Flansche sind in Abb. 54 und 55 dargestellt. Bei „Maximall" wird der Deckel am Flansch verschraubt; infolgedessen ist eine Versetzung desselben

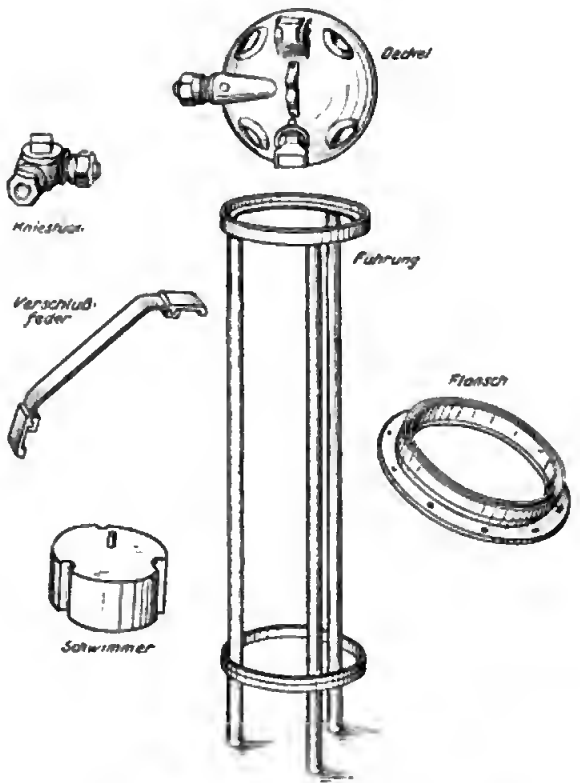


Abb. 55. Benzinuhrflansch Huttenlocher.

nur in bestimmter Weise möglich. Dadurch ist die Montage im Flugzeug bisweilen erschwert. Im Gegensatz dazu verwendet Huttenlocher einen Federverschluß, der völlige Versetzungsfreiheit gewährt. Die scharfen Knicke, die die Feder erfährt, bergen jedoch die Gefahr eines Federbruchs, der sofort zum Aussetzen des Motors führt. Vor- und Nachteile wiegen sich somit auf. Die übrigen die Sparmetalle betreffenden Fragen dürften heute gegenstandslos geworden sein.

Die Ausmaße des als normal eingeführten Flansches, für den zwei Größen festgelegt wurden, sind aus Abb. 56 und 57 ersichtlich.

Die Schwimmerführung geht aus Abb. 58 hervor.

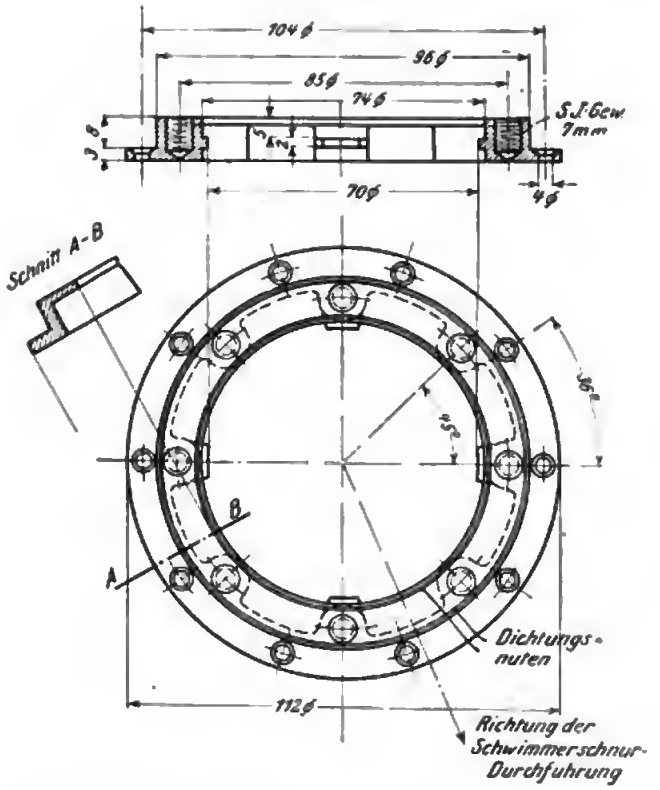


Abb. 56. Großer Normalflansch für Benzinuhren.

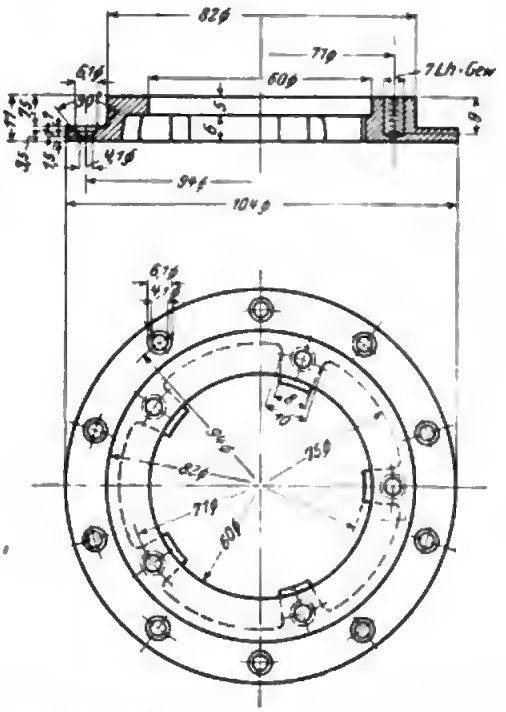
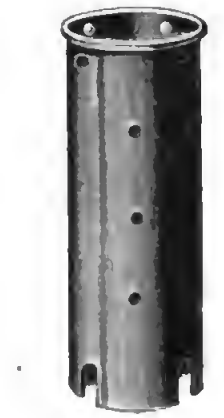
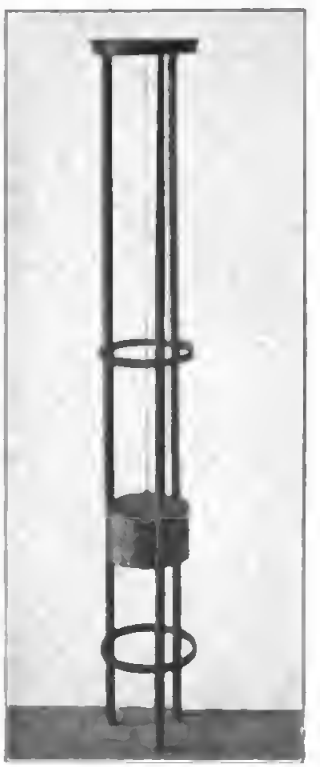


Abb. 57. Kleiner Normalflansch für Benzinuhren.



a



b

Abb. 58. Schwimmerführung.
a) Maximall.
b) Huttenlocher.

Digitized by Google

C. Manometer.

1. Allgemeine Gesichtspunkte.

Im allgemeinen ist heute der Hauptbenzintank im Rumpf des Flugzeugs untergebracht; zur Benzinförderung ist darum ein Überdruck nötig. Seine Messung erfolgt durch Manometer. Das Benzin tritt an der Vergaserdüse unter dem jeweilig herrschenden äußeren Drucke aus; hieraus erhellt, daß es sich nicht um Absolut-, sondern lediglich um Relativwerte, bezogen auf den äußeren Luftdruck, handelt. Diesem Umstand ist bei der Wahl der Manometer Rechnung zu tragen. Auch für die Ölzuführung, die ebenfalls durch Druckluft geschieht, gilt das gleiche.

Die zu messenden Drucke betragen normalerweise für den Benzintank 0,2 bis 0,4 kg/qcm, für den Öltank 1,0—2,5 kg/qcm und hängen im wesentlichen von der Höhendifferenz der Tanks und der Verbrauchsstelle ab.

2. Metallmanometer.

Als Meßgeräte sind bisher ausschließlich Metallmanometer im Gebrauch, die sich von den sonst üblichen in nichts Wesentlichem unterscheiden; wir können uns infolgedessen kurz fassen. Manometer stellen bezüglich ihrer Fabrikation einen Massenartikel dar, bei dessen Herstellung die Preisfrage in den Vordergrund gerückt ist. Da es sich hier überhaupt nicht um Präzisionsmessungen handeln kann, ist dagegen nicht viel einzuwenden, solange eine zulässige Fehlergrenze von ± 0,01 kg/qcm für Benzin, 0,03 kg/qcm für Öl nicht überschritten wird.

Die gebräuchlichste Form benutzt Bourdon-Röhren; die Übertragung zum Zeiger geschieht durch Segmente. Die Massenherstellung führt leicht dazu, daß dieser Übertragungsteil recht grob hergestellt wird; ein — trotzdem nur selten beobachtetes — Versagen ist fast immer auf die Ausführung dieses Teils zurückzuführen. Es braucht nach obigem kaum betont zu werden, daß das Innere des Gehäuses mit der äußeren Atmosphäre im Druckausgleich stehen muß.

Bisweilen wird die Ablesung durch ein Vibrieren des Zeigers erschwert; der Grund liegt in der meist nicht vorhandenen Ausbalancierung des Zeigers oder in der Verwendung einer zu schwachen Gegenfeder.

Wird, etwa für Kontrollzwecke, eine höhere Genauigkeit beansprucht, so können natürlich feinere Geräte ohne besondere Schwierigkeit Verwendung finden. Neben Bourdon-Federn kommen alsdann auch Membranen oder Dosen zur Benutzung. Damit nähert sich das Gerät in seinem Aufbau dem später zu beschreibenden Höhenmesser. Die Gesichtspunkte, die im Kapitel „Höhenmesser" des näheren erörtert werden, sind ohne weiteres auf solche Manometer zu übertragen.

3. Quecksilbermanometer.

Andere prinzipielle Bauarten für Druckmesser gibt es außer den genannten noch mehrere, die jedoch sämtlich für den gedachten Zweck kaum in Frage kommen dürften. Die Benutzung von Quecksilberrohren scheidet aus leicht ersichtlichen Gründen aus. Geschlossene Rohre zeigen den Absolutdruck an, kommen also für die Praxis nach Obengesagtem nicht in Frage; wohl aber könnten sie für theoretische

Digitized by Google

Zwecke brauchbar sein. Ihr Nachteil liegt in ihrer Reaktion auf Beschleunigungen, so daß man auch für Absolutmessungen wohl besser Membraninstrumente mit geschlossenem Gehäuse (auch Doseninstrumente) verwendet.

Offene Quecksilbermanometer scheiden ihrer Länge wegen völlig aus. Alle anderen Instrumente rechtfertigen nicht ihren höheren Preis.

4. Normalien.

Wir geben in Abb. 59 die Normalien der gebräuchlichen Benzin- und Ölmanometer, die sich in ihrem Äußeren völlig gleichen. Abb. 60 uud 61 enthalten die

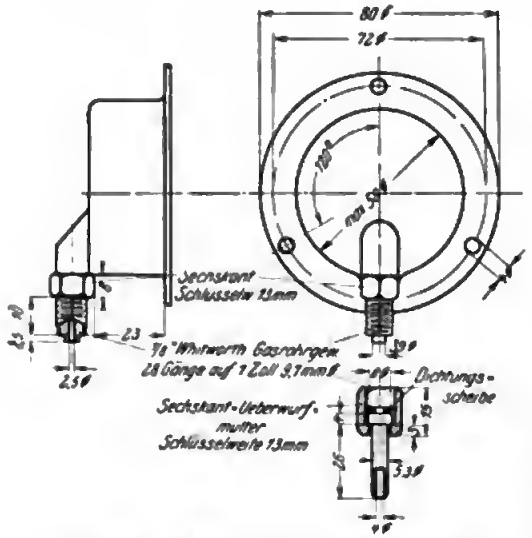


Abb. 59. Normalien für Manometer (Benzin und Öl).

Abb. 60. Normalzifferblatt des Benzinmanometers.

Abb. 61. Normalzifferblatt des Ölmanometers.

Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes ca. 49 mm. Durchmesser des inneren Teilstrichkreises 37 mm. Kurze Striche: Länge 3 mm, Stärke 0,5 mm. Lange Striche: Länge 5 mm, Stärke 1,0 mm. Größe der Zahlen: 4 mm, Strichstärke 0,5 mm. Schwarzer Grund, weiße Zahlen und Zeiger. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

Abb. 62. Benzinmanometer.

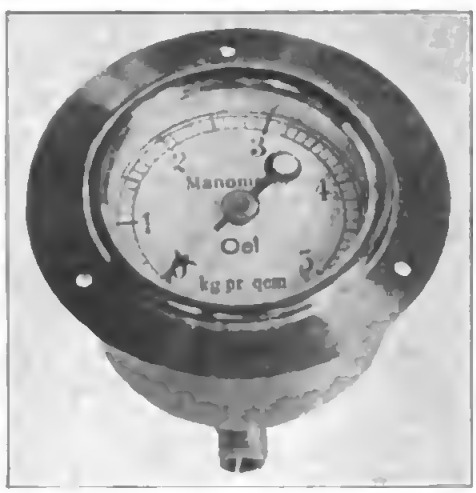


Fig. 63. Ölmanometer.

entsprechenden Schaubilder. In Anbetracht des kleinen Meßbereichs des Benzinmanometers ist der Zeiger exzentrisch angeordnet; der dem Gebrauchsdruck von 0,25 kg/qcm entsprechende Teilstrich befindet sich in der Mitte der Skala, so daß die Normalstellung des Zeigers die vertikale ist. Diese Art der Einteilung erleichtert die Ablesung wesentlich.

Der Zeiger des Ölmanometers ist in Anbetracht des größeren Meßbereichs zentrisch angeordnet, der Gebrauchsdruck ca. 1,5 kg/qcm ist wiederum oben markiert. Radiumbelegungen, wie in Abb. 60 und 61 angedeutet, haben sich gut bewährt. Abb. 62 und 63 zeigen einige ausgeführte, nicht normalisierte Muster.

D. Kühlwasserthermometer.

1. Allgemeine Gesichtspunkte und Methoden.

Der außerordentliche Wechsel der Außentemperatur, der in der Flugpraxis zwischen $+ 40^{\circ}$ und $- 40^{\circ}$ liegt, beeinträchtigt den Wirkungsgrad des Motors in hohem Maße. Abgesehen davon, daß sowohl das Sieden wie das Gefrieren des Kühlwassers zu Schädigungen führt, ist auch eine Temperaturschwankung desselben in engeren Grenzen für den Effekt des Motors von Bedeutung. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, entweder die Kühlertemperatur zu messen, oder besser noch, selbsttätig zu regulieren. Historisch wandte man sich zuerst der Messung zu.

a) Quecksilberthermometer.

Gewöhnliche Quecksilberthermometer, die an irgendeiner bequem erreichbaren Stelle in der Kühlwasserleitung angebracht wurden, waren das Naturgegebene. Um ihre Zerbrechlichkeit zu verringern, versah man sie mit Schutzhüllen, die man nach Möglichkeit in Stromlinienform brachte, da sie dem Luftzuge ausgesetzt sind. Ausgehend von dem Gesichtspunkt, daß der Kühler ein und dieselbe Temperatur behalten solle, zum mindesten aber eine bestimmte Temperatur nicht überschreiten dürfe, kam man auf die Idee, diese Thermometer mit selbständigen Warnvorrichtungen zu versehen, derart, daß mit Hilfe eines elektrischen Kontaktes eine Glühlampe zum Aufleuchten gebracht wurde. Als kritische Temperatur waren 85° C vorgesehen. Diese Zahl ergab sich daraus, daß bei einer Flughöhe von 5000 m der Siedepunkt des Wassers etwas oberhalb dieser Temperatur liegt. Es war somit anzunehmen, daß in den gebräuchlichen Flughöhen mit Hilfe dieser Vorrichtung ein Sieden des Kühlwassers vermieden werden konnte. Als jedoch die Flughöhen wesentlich stiegen, war diese Voraussetzung nicht mehr erfüllt; aber auch sonst zeigte es sich, daß die Warnvorrichtung überflüssig war. Überhaupt ist es nicht immer von Vorteil, die Aufmerksamkeit des Führers durch solche Eselsbrücken zu ersetzen; in den meisten Fällen bedeuten sie eine Komplikation und keine Erleichterung. Aus diesem Grunde wurde die Vorrichtung schließlich fallen gelassen. Die Frage, ob man ein Minimum markieren müsse, um ein Einfrieren zu verhindern, hat sich als nicht von Belang erwiesen. Einige Versuche auf diesem Gebiet wurden als zwecklos fallen gelassen. Viel wichtiger ist es, das Thermometer so zu gestalten, daß es die augenblickliche Temperatur gut abzulesen gestattet.

Digitized by Google

Da zu hohe Temperaturen zweifellos den größeren Fehler bedeuten, ist es notwendig, die Messung auch an die Stelle zu verlegen, wo ihr Maximum liegt. Dies ist der Fall im Motor selber oder zum mindesten am Austritt des Kühlrohrs aus dem Motor. Diese Stelle liegt jedoch häufig so ungünstig, daß ein dort angebrachtes Thermometer vom Führersitz aus schlecht zu beobachten ist. Man war daher teilweise genötigt, hängende Thermometer einzuführen. Die dabei auftretende Schwierigkeit lag darin, daß beim Zurückgehen der Temperatur der Quecksilberfaden leicht abriß. Diese Schwierigkeit wurde dadurch umgangen, daß an Stelle des Vakuums Stickstoff in das Thermometerrohr hineingebracht wurde.

b) Weingeistthermometer.

Trotz dieser verschiedenen Formen liefen noch immer Klagen über die schwere Sichtbarkeit des Fadens ein. Deshalb verließ man die Quecksilberthermometer und ging zu solchen mit Weingeist- oder Toluolfüllung über. Am besten hat sich intensiv blaugefärbter Alkohol bewährt. Die Einführung dieser Instrumente geschah zu einer Zeit, als man die Warnvorrichtung noch für notwendig hielt. Da sich mit Alkohol kein Kontakt schließen läßt, wurde nebenher eine Form ausgebildet, die ein normales Weingeist- und ein davon getrenntes Quecksilberkontakt-Thermometer vereinigte; sie hat jedoch nur historisches Interesse.

Neuere Flugzeuge, bei denen die Kühlwasserleitung völlig eingebaut ist, gaben den Anlaß dazu, von den bisher erwähnten Instrumenten zu Fernthermometern überzugehen. Hier haben sich zwei Methoden eingeführt: das Dampfdruckthermometer und das elektrische Fernthermometer. Beide waren in Friedenszeiten schon bekannt, mußten jedoch den besonderen Bedürfnissen entsprechend durchgebildet werden.

c) Dampfdruckthermometer.

Das Dampfdruckthermometer besteht aus einem mit einer niedrig siedenden Flüssigkeit (Äther, Methylchlorid) gefüllten Hohlkörper, der in das zu messende Kühlwasserrohr eingesetzt wird, einem daran angesetzten metallenen Kapillarrohr und einem Anzeigemanometer. Das Kapillarrohr ist zum größten Teil mit einer zweiten hochsiedenden Flüssigkeit gefüllt, die dazu dient, eine allmähliche Destillation der Dampfdruckflüssigkeit zu verhindern. Theoretisch ist die Temperatur des Kapillarrohrs belanglos. In der Praxis zeigte sich jedoch, daß das nicht immer der Fall ist. Der Grund liegt wohl meistens darin, daß zuviel von der Sperrflüssigkeit vorhanden ist, so daß nicht nur der Dampfdruck, sondern auch die thermische Ausdehnung eine Rolle spielt. Von Bedeutung ist die Art und Weise, wie das Verbindungsrohr in den Meßkörper eingeführt ist. Vollkommene Dichtigkeit ist natürlich erste Voraussetzung. Das Verbindungsrohr muß aus weichem Kupfer bestehen und darf nicht zu stark gebogen werden, da es sonst leicht porös wird. Es muß außerdem gut befestigt werden, da ein Hin- und Herschwanken die Anzeige beeinflußt. Dieses Instrument, das bei unserer Fliegerei erst in neuerer Zeit eingeführt wurde, scheint sich bei den Verbandsmächten sehr bewährt zu haben. Es gestattet, das Anzeigeinstrument direkt vor dem Führer anzubringen, da die Länge des Verbindungsrohrs ohne Bedeutung ist, und dürfte auch für Großflug-

Digitized by Google

zeuge noch Bedeutung gewinnen. Es besitzt lediglich den einen Fehler, daß es in der Anzeige etwas träger ist als gewöhnliche Thermometer. Andererseits bietet es jedoch noch einen weiteren Vorteil: man kann nämlich mehrere Meßstellen zu einem Anzeigeinstrument zusammenführen, alsdann zeigt letzteres immer die höchste Temperatur sämtlicher Meßstellen an; man könnte also eine Anzahl von Meßkörpern im Motor verteilen, da es in der Praxis nicht von Belang ist, zu wissen, an welcher Stelle die Temperatur überschritten ist, sondern daß die Tatsache des Überschreitens an einer Stelle besteht.

d) Quecksilberfernthermometer.

Auch Quecksilberfernthermometer für Fernablesung sind neuerdings aufgetaucht, auf Flugzeugen jedoch noch nicht erprobt worden. Die Firma Schäffer und Budenberg benutzt folgendes Verfahren: Der Meßkörper besteht, wie bei gewöhnlichen Thermometern, aus einer Quecksilber enthaltenden Kugel, an die sich eine ebenfalls mit Quecksilber gefüllte Kapillare beliebiger Länge anschließt, die in einem Thermometerrrohr über einer Skala endet. Da jedoch die Füllung der Kapillare ebenfalls der Wärmeausdehnung unterliegt, so wäre die Anzeige durch Zwischentemperaturen gefälscht. Um diesen Fehler auszuschalten, ist dicht neben der ersten eine zweite Quecksilber enthaltende Kapillare ohne Kugel geführt, die ebenfalls in einem Ableserohr endet. Es ist ersichtlich, daß die Differenz der Anzeigen beider Rohre die von der Zwischentemperatur der Leitung befreite, wahre Temperatur des Meßkörpers angibt. Das Anzeigegerät läßt sich noch in verschiedener Weise umgestalten, so daß man einer Differenzbildung enthoben ist. Ein Bedenken, daß Fehler durch Biegung der Kapillaren entstehen könnten, ist bei der Gleichartigkeit letzterer wohl gegenstandslos, soll aber nicht unterdrückt werden.

e) Elektrische Fernthermometer.

Elektrische Fernthermometer sind im ausgiebigen Maße bei Großflugzeugen verwandt worden. Von den beiden Methoden der thermoelektrischen Messung und der Widerstandsmessung wurde nur die letztere eingeführt, da die erstere eine konstante Vergleichstemperatur voraussetzt, die bei den starken Temperaturschwankungen schwer zu verwirklichen ist. Die Widerstandsmessung geschieht entweder in der Brücke oder durch Differentialgalvanometer. Die hauptsächlichste Bedingung ist die Konstanterhaltung der Hilfsstromquelle, wofür verschiedene Methoden im Gebrauch sind. Das ganze Instrument ist reichlich empfindlich gegen äußere Einflüsse, namentlich leidet es unter Feuchtigkeit. Ferner liegt eine Schwierigkeit darin, daß das ziemlich empfindliche Galvanometer leicht auf Erschütterungen reagiert. Dieser Übelstand kann nur durch eine genaue Auswuchtung der Galvanometermasse behoben werden. Da diese Instrumente namentlich für Großflugzeuge mit zwei oder mehr Motoren in Betracht kommen, vereinigt man die Anzeigeinstrumente zu einem einzigen, das durch einen Kontaktwähler mit den einzelnen Stellen in Verbindung gesetzt werden kann. Ein Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, daß man die Anzeige nicht dauernd vor sich hat, sondern genötigt ist, in gewissen Zeitabständen den Wähler zu bedienen. Aus diesem

Digitized by Google

Grunde und wegen der großen Empfindlichkeit sind diese Art Fernthermometer für die Fliegerei voraussichtlich nicht die erstrebenswertesten; vielmehr wird man allmählich zu den unter c oder d behandelten Geräten übergehen, die an Billigkeit und Zuverlässigkeit sicher überlegen sein werden, sobald sie erst völlig durchgebildet sind.

f) Thermofarben.

Eine mehr qualitative Methode, um Überhitzung des Motorkörpers bequem zu überwachen, beruht auf der Anwendung sog. Thermofarben. Es gibt anorganische Farbstoffe,[1]) die bei bestimmter Temperatur einen deutlichen Farbenumschlag zeigen, z. B. von hellrot in dunkelbraun bis schwarz übergehen. Wenn die der Hitze am meisten ausgesetzten Teile des Motors mit diesen Farben bestrichen sind, so lassen sich bei einiger Aufmerksamkeit unzulässige Temperaturerhöhungen auf einfachste Art feststellen. Dieses Verfahren ist in der Praxis bisher nicht eingeführt, einmal weil in den neueren Maschinen der Motor kaum sichtbar eingebaut ist, und dann auch, weil, ähnlich wie bei den Warnungslampen, die Anzeige einer einzigen Temperatur wenig Zweck hat. So wird z. B. im Sommer bisweilen die Umschlagsgrenze unvermeidlich überschritten werden, während sie im Winter kaum erreicht wird.

g) Thermoregler.

Die Ausrüstung mit einem Thermometer in irgendeiner Form hat jedoch nur dann Wert, wenn dem Führer auch Mittel an Hand gegeben sind, auf die Anzeige hin die Temperaturen zu verändern. Am einfachsten geschieht dies durch verstellbare Kühlerklappen oder auf ähnliche Weise. Es liegt nunmehr nahe, diese Regulierung automatisch vornehmen zu lassen. Von den oben aufgeführten Prinzipien käme in erster Linie das Dampfdruckthermometer in Frage als das einzige, das einen genügend großen Druck zur Überwindung des natürlichen Widerstandes zu entwickeln imstande ist.

Hierin ist noch nicht viel geschehen, da man erst Erfahrungen mit dem nur anzeigenden Instrument sammeln wollte; wohl aber ist versucht worden, die Wärmeausdehnung fester Metallstäbe, die im Kühlwasser untergebracht werden, zu verwenden. Solche Metallstäbe müssen in einem Metall von anderem Ausdehnungskoeffizienten gelagert sein. Um genügende Längenänderungen zu erzielen, müssen die Stäbe eine beträchtliche Länge besitzen. Derartige Vorrichtungen sind bereits erprobt worden. Auch eine Auslösung von Servomotoren wurde ins Auge gefaßt.

Eine Weiterarbeit auf diesem Gebiet, namentlich in der zuletzt angedeuteten Weise, dürfte einem großen Bedürfnis entsprechen.

2. Besondere Ausführungsformen.

a) Das normalisierte Kühlwasserthermometer mit Warnlampe.

Indem wir die zeitlich früheren Formen von Thermometern übergehen, soll sogleich diejenige Type behandelt werden, die sich als die geeignetste erwiesen hat.

[1]) Z. B. Quecksilberjodid, Quecksilber-Kupferjodid oder Quecksilber-Silberjodid.

Die Einzelheiten der Konstruktion sind aus Abb. 64 ersichtlich. Die Anlage besteht aus dem eigentlichen Thermometer mit Skala und Beleuchtungseinrichtung, einer im Führersitz unterzubringenden Warnungslampe, einem Schalter und einer Stromquelle.

Zur Aufnahme des Thermometerrohrs dient ein Aluminiumgehäuse, welches am Boden eine Schraubenmutter von 24 mm Schlüsselweite, sowie einen daran sich anschließenden hohlen Bolzen mit hinterdrehtem Bankgewinde zum Anschrauben des Gehäuses an das Kühlwasserrohr aufweist. Der Schraubenbolzen läuft in einen

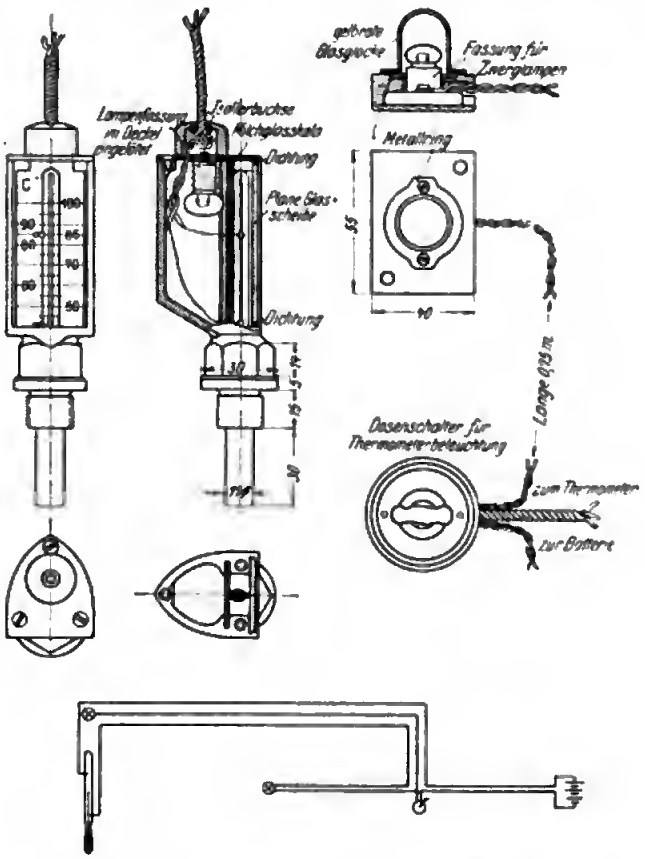


Abb. 64. Normalisiertes Kühlwasserthermometer.

hohlen, unten geschlossenen zylindrischen Fortsatz aus, in den die Glaskugel der Quecksilberröhre von oben eingeführt und verkittet wird. Hinter der Thermometerröhre, welche zur Erleichterung des Ablesens einen ovalen (nicht dreieckigen) Querschnitt besitzt, ist in Nuten der Gehäusewand eine Milchglasskala eingelassen, die eine von 45—100° C um je 5° wachsende, von 10 zu 10° mit schwarzen Zahlen versehene und bei 85° einen roten Markierungsstrich mit roter Zahl aufweisende Teilung trägt (siehe Zeichnung). Das Gehäuse ist vorn durch eine in schwalbenschwanzförmigen Nuten geführte Planglasscheibe (nicht etwa Zylinderlinse) verschlossen und zum Schutz gegen Verstaubung und Beschlagen gut abgedichtet. Im Deckel des Gehäuses ist eine Fassung zum Ein-

schrauben einer Viervolt-Glühlampe eingelötet, welche die Skala von hinten zu beleuchten gestattet. Außerdem ist auf dem Deckel eine oben mit einer Isolierbüchse versehene Metallkapsel aufgeschraubt, die zum Einführen und zum Schutze einer nach dem Innern des Gehäuses führenden dreiadrigen Litze dient. Die Enden zweier Adern derselben sind an zwei Kontaktdrähte aus Platin, welche unten bei etwa 40° der Skala und oben bei 85° in die Thermometerröhre eingeschmolzen sind, angeschlossen, von wo sie durch den Deckel nach einer Warnungslampe im Führersitz und weiter nach der Speisebatterie geführt sind, so daß die Warnungslampe zu leuchten beginnt, sobald die Quecksilbersäule des Thermometers den oberen Kontakt berührt. Durch das Einschmelzen der Platindrähte darf der Querschnitt des Thermometerrohrs nicht deformiert werden, insbesondere sind Ausbauchungen an diesen Stellen zu vermeiden. Die Warnungslampen-

Abb. 65.
Normalisiertes Kühlwasserthermometer.

Abb. 66.
Kühlwasserthermometer (Schlegelmilch).

einrichtung besteht aus einem Holzklotz, in dem eine Porzellanfassung zum Einschrauben einer Zwerglampe eingebaut ist; nach Möglichkeit soll sie direkt in das Instrumentenbrett eingelassen werden. Das Schaltungsschema ist aus der Zeichnung ersichtlich. Der vorgesehene Schalter dient lediglich zur Betätigung der Nachtbeleuchtung, während die Warnungslampe dauernd eingeschaltet bleibt.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß völliger Abschluß des Gehäuses unbedingt erforderlich ist, da andernfalls ein Beschlagen der Abschlußscheibe eintritt. In Abb. 65—68 sind einige ausgeführte Formen dargestellt. Zum Einbau in das Kühlwasserrohr dient ein mit sog. Zündkerzengewinde versehener Rohrstutzen, der am ersteren eingelötet ist (Abb. 69 und 70).

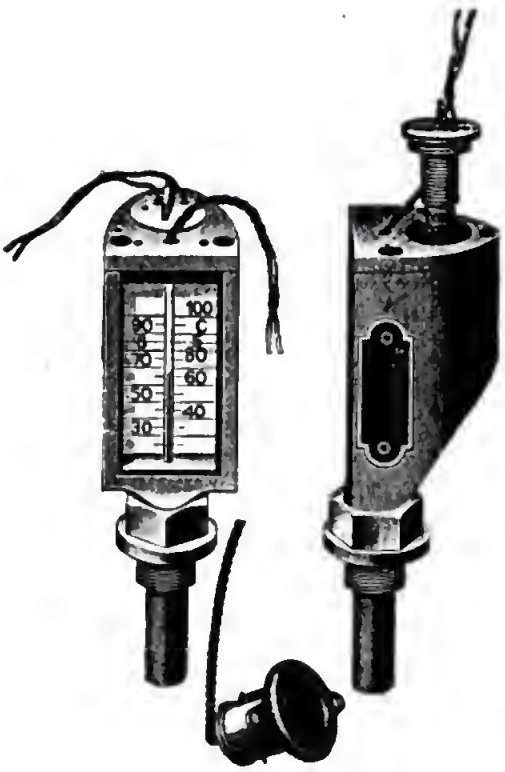


Abb. 67. Kühlwasserthermometer (Schlegelmilch).

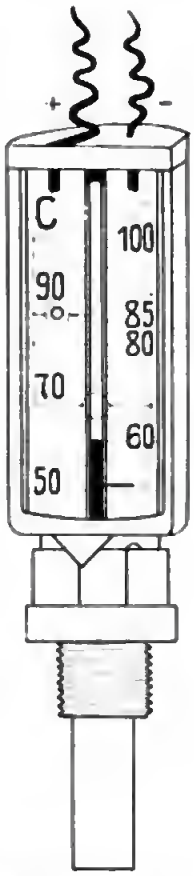


Abb. 68. Kühlwasserthermometer (Jahn).

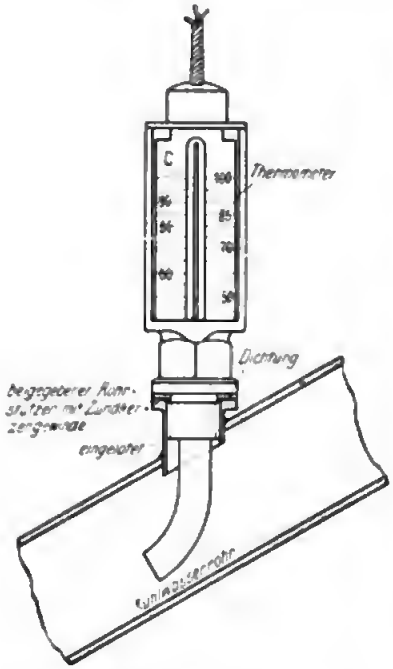


Abb. 69. Einbau-Normalstutzen.

Abb. 70. Einbau.

b) Kühlwasserthermometer ohne Warnlampe.

Die Einrichtung entspricht durchaus der unter a beschriebenen, nur kommen alle für die Warnvorrichtung dienenden Teile in Fortfall, insbesondere wird nur eine zweiadrige Litze benötigt. Die Einschmelzkontakte sind fortgelassen, jedoch bleibt das Schaubild der Skala erhalten. Die Zuführung der Beleuchtungslitze erfolgt auch hier immer durch den Deckel des Gehäuses, da Zuführung von unten erfahrungsgemäß Störungen hervorruft.

c) Hängende Kühlwasserthermometer (der Firma Schlegelmilch).

Sie unterscheiden sich von den vorhergehenden nur durch das Thermometerrohr, das hier u-förmig gestaltet ist. Um ein Abreißen des Fadens zu vermeiden, ist, wie schon erwähnt, an Stelle des Vakuums im Rohr eine Stickstoffüllung unter mäßigem Druck vorgesehen. Der Stutzen ist hier von unten in das Kühlwasserrohr eingelötet.

d) Kühlwasserthermometer mit gefärbter Flüssigkeit.

An Stelle des spiegelnden Quecksilbers, das bisweilen die Ablesung erschwert, hat man mit Vorteil neuerdings Alkohol verwendet; als günstigste Färbung erwies sich dunkelblau. Der Querschnitt des Rohrs ist ebenfalls oval und soll möglichst breit gehalten sein.

Abb. 71. Einbau des Kühlwasserthermometers.

Digitized by Google

e) Einbau.

Der Einbau der Meßkörper sämtlicher, auch der später zu beschreibenden Formen soll, wie schon erwähnt, möglichst an der heißesten Stelle des Kühlwassers erfolgen, d. h. dort, wo letzteres den Motor verläßt; Abb. 71 zeigt ein Beispiel des Einbaus.

f) Dampfdruckthermometer.

Abb. 72 zeigt eine Form des Thermometerkörpers, wie sie sich für Dampfdruckthermometer bewährt hat. Eine mit Zündkerzengewinde versehene und durchbohrte Kapsel nimmt das Druckrohr auf, das mit Hilfe einer Mutter und eines Dichtungsringes in ihr verschraubt ist. Diese Form gewährt eine einfache Montage ohne Verdrillung des Kapillarrohrs. Der Körper des Druckgefäßes, der nur 30 mm aus dem Zündkerzengewinde herausragen darf, ist oben mit zwei hart eingelöteten

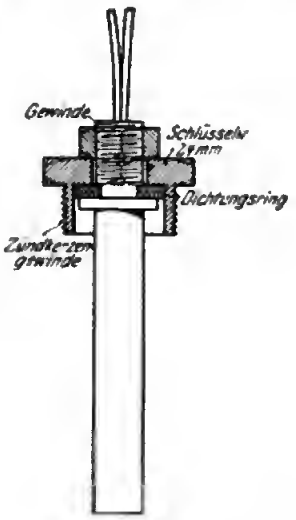


Abb. 72. Körper des Dampfdruckthermometers (Atmos).

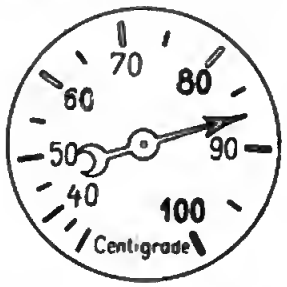


Abb. 73. Normalzifferblatt des Dampfdruckthermometers.

Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes ca. 54 mm. Durchmesser des inneren Teilstrichkreises 40 mm. Kurze Striche: Länge 3 mm, Stärke 1,2 mm. Lange Striche: Länge 5 mm, Stärke 1,4 mm. Größe der Zahlen 5 mm, Strichstärke 0,4 mm. Schwarzer Grund, weiße Zahlen und Zeiger. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

kupfernen Kapillarrohren versehen, von denen das eine kurz ist und nur zur Füllung dient, während das andere eine beliebige Länge haben kann und zu einem Manometer führt. Das Druckgefäß ist zu etwa Dreiviertel mit einer niedrig siedenden Flüssigkeit (am gebräuchlichsten Methylchlorid) gefüllt, das Kapillarrohr enthält eine indifferente Flüssigkeit ohne wesentlichen Dampfdruck, die jedoch bei — 40° noch nicht gefrieren oder dick werden darf. Über die Wahl geeigneter Substanzen herrscht noch Uneinigkeit.

Das benutzte Manometer muß bei Verwendung von Methylchlorid ganz beträchtliche Drucke aushalten und dementsprechend eingerichtet sein. Der Dampfdruck beträgt nämlich bei 0° 2,5 Atmosphären, bei 35° 7,5 Atmosphären, bei 100° schätzungsweise 30 Atmosphären. Da es nicht einfach ist, Dichtungen herzustellen, die solchen Drucken gewachsen sind, benutzt man häufig an Stelle dessen Äthylchlorid, daß bei 100° 11,5 Atmosphären besitzt. Das Normalzifferblatt des verwendeten Manometers ist aus Abb. 73 ersichtlich.

Digitized by Google

Laboratoriumsversuche zeigten, daß die Temperatur des Verbindungsrohrs nicht ganz ohne Einfluß auf die Anzeige des Geräts ist. Die Gründe hierfür sind noch nicht klargestellt; jedenfalls ist aber sicher, daß der Füllungsgrad von erheblichem Einfluß ist. Ebenso können Bewegungen (Schwingungen) des Rohrs die Anzeige beeinträchtigen. Somit liegen hier eine Anzahl Schwierigkeiten vor, die die Brauchbarkeit des sonst sehr erstrebenswerten Geräts vorläufig noch herabsetzen. Auf die Kombination mehrerer Thermometer wurde bereits früher hingewiesen.

g) Elektrische Kühlwasser-Fernthermometer.

Die gebräuchlichen Instrumente dieser Art verwenden ausschließlich die Änderung eines Metallwiderstandes mit der Temperatur, und zwar wird der Widerstand

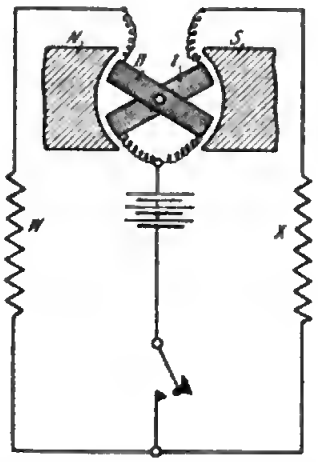


Abb. 74. Schema der Temperaturmessung mittels Differentialgalvanometers.

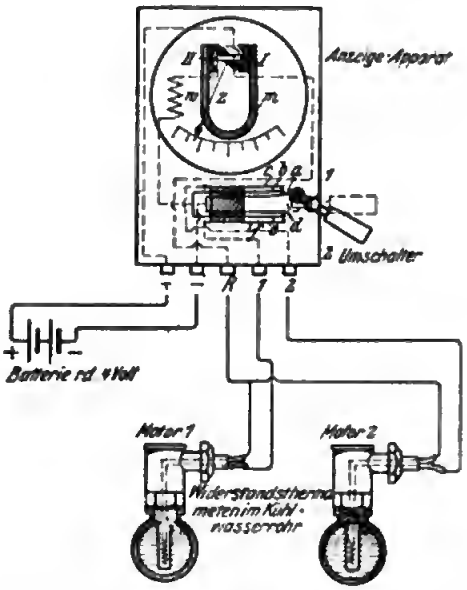


Abb. 75. Schaltschema des Ferntbermometers Hartmann & Braun.

in einem Falle mit Hilfe eines Differentialinstruments gemessen (Hartmann & Braun), im anderen Falle in einer Art Brückenschaltung bestimmt (S. Guggenheimer).

α. Thermometer Hartmann & Braun (Differentialmessung).

Das Schema der Messung geht aus Abb. 74 hervor. X ist der zu messende, W ein Vergleichswiderstand; bei Gleichheit beider fließen durch die beiden symmetrischen Spulen I und II gleich große Ströme, so daß kein Ausschlag erfolgt; bei Änderung von X wird die Symmetrie gestört und der Ausschlag gibt ein Maß für die Veränderung. Abb. 75 zeigt die Schaltung für wahlweises Ablesen zweier Meßstellen. Die äußere Ausführung eines Meßkörpers sowie eines einfachen Anzeigers ist aus Abb. 76 ersichtlich. Der Meßkörper ist wiederum mit Zündkerzen-

gewinde versehen. Der feine Widerstandsdraht ist in einer äußerst schmalen Kapsel untergebracht, die einen schnellen Temperaturausgleich gestattet und zugleich dem strömenden Wasser einen geringen Widerstand bietet; das Differentialgalvanometer ist leidlich schwingungsfrei, so daß die Ablesung recht genau erfolgen kann. Das Verfahren bietet den Vorteil, daß es einer jeweiligen Nullpunktseinstellung nicht bedarf. Natürlich ist die Messung noch abhängig von der angelegten äußeren Spannung. Um diese regulieren zu können, hat man für genauere Zwecke noch ein Aggregat aus Voltmeter und Regulierwiderstand nötig. Da es sich aber hier

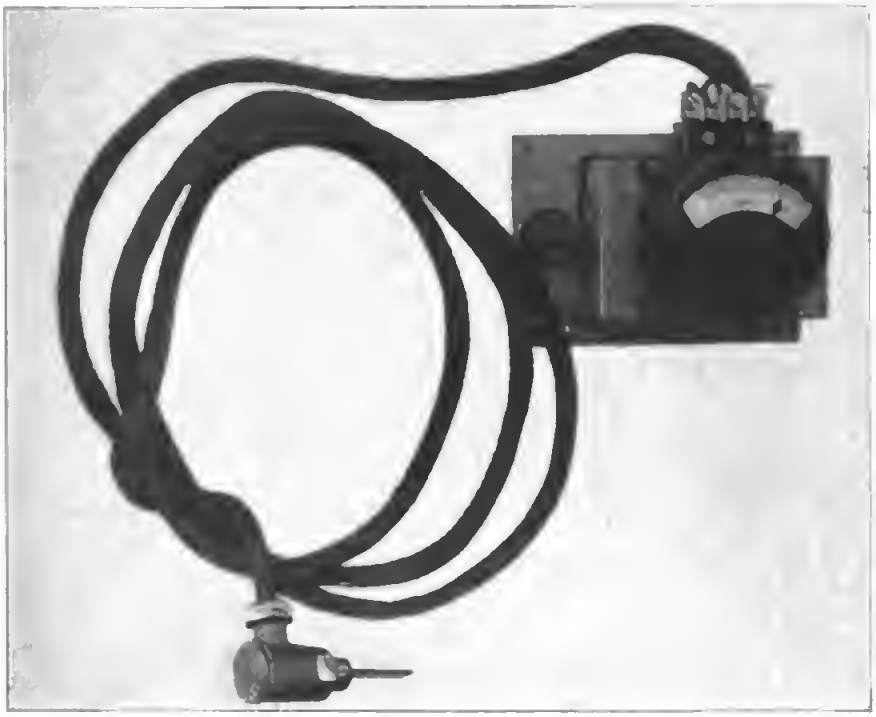


Abb. 76. Fernthermometer (Hartmann & Braun).

kaum um Präzisionsmessungen handelt, kann man in der Praxis davon absehen und sich darauf beschränken, den Akkumulator in gut geladenem Zustande zu erhalten.

β. Thermometer S. Guggenheimer. (Widerstandsmessung.)

Die Messung erfolgt hierbei in der gewöhnlichen Brückenschaltung (Abb. 77). Da sich jedoch in dieser Schaltung eine zeitweilige Eichung nicht umgehen läßt, so ergänzte man sie später durch die Schaltung Abb. 78. Hier ist in den zu messenden Zweig der Brücke ein Prüfwiderstand gelegt, der wahlweise an Stelle des Meßkörpers eingeschaltet werden kann. Die Ausführung des Meßkörpers zeigt Abb. 79, die des Anzeigers Abb. 80 und 81. Als Widerstand wird Reinnickeldraht 0,15 mm (emailliert) verwendet. Sein Gesamtwiderstand beträgt bei — 20° 83,10 Ohm, bei + 100° 138,34 Ohm; in dem ganzen Gebiet ist der Anstieg fast

Digitized by Google

völlig linear. Der Anzeiger ist im allgemeinen für zwei Meßstellen eingerichtet, die durch einen Hebel (Abb. 80) *a* wahlweise eingeschaltet werden können. Die Messung erfolgt durch Betätigung des Knopfes *b*. Befindet sich der Hebel *a* in vertikaler Stellung, so kann unter Bedienung des Knopfes *b* eine Eichung vorgenommen werden, indem mit Hilfe der Regulierschraube *R* die Zeigerstellung so lange verändert wird, bis der Zeiger auf einer auf der Skala angebrachten, in der

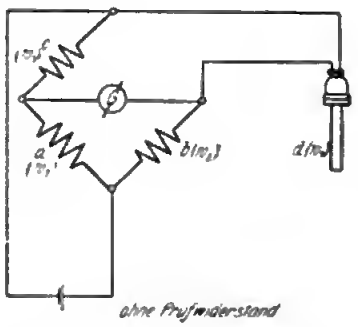


Abb. 77. Schaltschema des Thermometers (Guggenheimer).

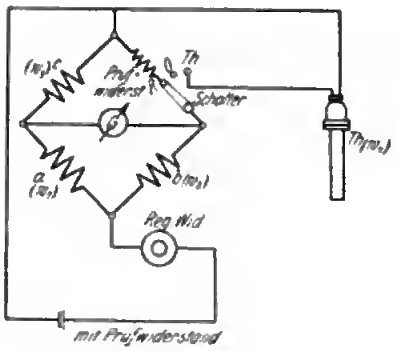


Abb. 78. Dasselbe mit Prüfwiderstand.

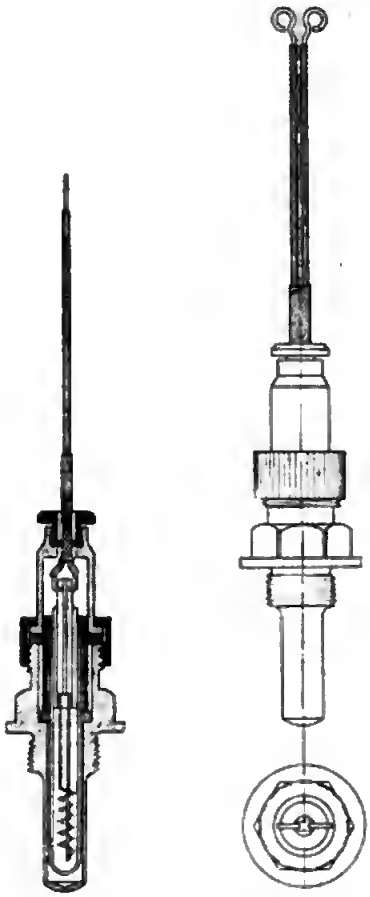


Abb. 79. Körper des Fernthermometers (Guggenheimer).

Zeichnung nicht angegebenen Marke einspielt. Wie die Zeichnung erkennen läßt, ist das Innere des Anzeigers reichlich verwickelt; dies ist auch der Grund, weshalb das Gerät anfänglich häufig versagte. Allmähliche Verbesserungen, die sich hauptsächlich auf die Schleifkontakte und die Ausführung des Hebelschalters bezogen, haben die Schwierigkeiten überwinden lassen.

Als Wahlschalter für mehrere Meßstellen hat sich die Form der Abb. 82 brauchbar erwiesen; die Wahl erfolgt durch Drehen der Schraube, die Messung durch Drücken des Knopfes. Diese Anordnung ermöglicht eine schnelle Durchmessung sämtlicher Stellen, wobei der Knopf dauernd heruntergedrückt bleibt. Man könnte

hier noch einen Schritt weiter gehen und an Stelle des Knopfes einen Schnappschalter (siehe Kapitel „Beleuchtung") verwenden; ein Vorteil liegt jedoch darin kaum, da eine Dauerbetätigung dem Instrumente schadet.

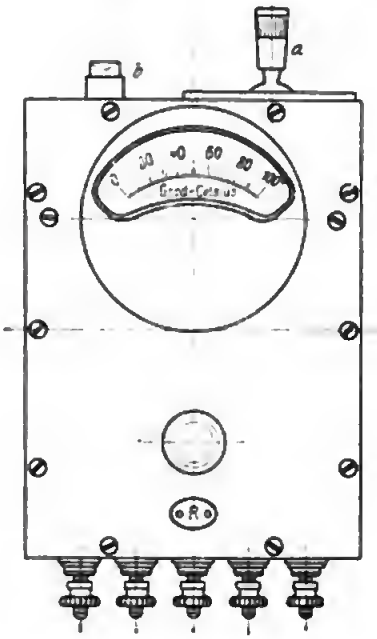


Abb. 80.
Fernthermometer (Guggenheimer).

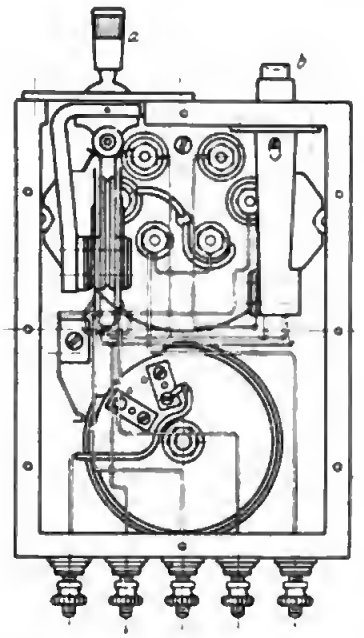


Abb. 81.
Fernthermometer (Guggenheimer).

Abb. 82. Wahlschalter für Fernthermometer.

Abschnitt II.

Geräte zur Überwachung des Fluges und zur Navigation.

A. Höhenmesser.

1. Allgemeines über Höhenmessung.

Daß die Bestimmung der Flughöhe zu den wichtigsten Maßnahmen des Fliegers gehört, bedarf weiter keiner Erörterung. Daß aber bei der Festsetzung des Begriffes „Flughöhe" noch mancherlei zu berücksichtigen ist, wird häufig übersehen.

Von vornherein sind grundsätzlich zwei Begriffe zu unterscheiden, nämlich die absolute und die relative Höhe. Erstere bezieht sich auf eine ein für allemal festgelegte Nullfläche, etwa den normalen Wasserspiegel (Meeresniveau), letztere auf den jeweilig überflogenen Punkt der Erdoberfläche. Daß beide Begriffe für den Flieger von Bedeutung sind, geht aus folgender Übersicht hervor. Es stützen sich auf die

Absolute Höhe:	Relative Höhe:
Leistungsmessungen	Überlandflüge
Abnahmeflüge	Landungen
Rekordflüge	Bombenwurf
Landesvermessung.	Landesvermessung.

Erstere ist also im allgemeinen für theoretische Zwecke, letztere für die Praxis ausschlaggebend. Dabei ist die Aufzählung noch keineswegs erschöpfend; gerade der Kriegsfliegerei erstanden immer wieder neue Aufgaben, zu deren Lösung die Kenntnis namentlich der relativen Höhe notwendig war.

Um so wichtiger ist die Feststellung, daß wir zur Zeit eigentlich noch keinen wirklichen Messer für die relative Höhe besitzen. Eigentümlicherweise wird dieser Mangel aber häufig gar nicht empfunden, indem man ohne viel Nachdenken der Anzeige eines Barometers vertraut. Eine gewisse Berechtigung mag diese Sorglosigkeit in den Fällen besitzen, wo es sich um wenig ausgedehnte Flüge in flachem Gelände handelt, namentlich wenn die Meereshöhe des Geländes gering ist. In allen anderen Fällen bedarf die Anzeige des Instruments zuerst einer Umrechnung, um einen nicht nur eingebildeten Wert zu besitzen.

Wir wollen nun die verschiedenen Verfahren durchgehen.

Digitized by Google

a) Höhenmessung mit fester Basis (absolute Höhe).

α. Barometrische Höhenmessung.

Die wichtigste Methode zur Bestimmung der absoluten Höhe besteht in der Messung des Luftdrucks mittels des Barometers. Ihre Verbreitung verdankt sie ihrer großen Einfachheit, die jedoch über ihre Mängel nicht hinwegtäuschen darf. Letztere bestehen in der Abhängigkeit von der Wetterlage, den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen der Atmosphäre und in geringerem Maße von den Windströmungen. Auf all das werden wir später eingehen.

Will man mit Hilfe des Barometers eine Höhenmessung durchführen, so hat man zuerst eine Bezugshöhe festzulegen. Gemeinhin geschieht das so, daß man beim Start das Barometer auf die Höhe 0 einstellt; man macht dadurch das Niveau des Flugplatzes zur Nullebene. Dies Verfahren hat zwei Nachteile; einmal setzt es eine lineare Teilung der Höhenskala voraus, wenn es überhaupt Sinn haben soll. Zweitens erfordert es, wenn man etwa zur Relativmessung mit Hilfe einer Karte übergehen will, eine Umrechnung auf Meeresniveau. Man kann beides dadurch vermeiden, daß man von vornherein die wahre Höhe, also diejenige des Flugplatzes über Meeresniveau, einstellt. Um die wegen des Wetterwechsels nötige jedesmalige Einstellung zu erleichtern, hat man neuerdings einen sog. Flugplatzzeiger am Barometer angeordnet. Verfährt man in der angegebenen Weise, so erhält man die absolute Höhe mit der Genauigkeit, die ein Barometer überhaupt gestattet.

Diese Genauigkeit ist jedoch leider nicht sehr groß, da neben den oben erwähnten unvermeidbaren Fehlern noch solche instrumenteller Art auftreten; in erster Linie ist die elastische Nachwirkung des Dosensystems zu berücksichtigen.

Man hat versucht, diesen Fehler durch geeignete Mittel aufzuheben; einmal geschah dies durch Verbesserung der Dosenform; dann versuchte man, durch einen Kunstgriff die elastische Nachwirkung völlig aufzuheben; hier führten die Versuche zu einem vollen Erfolge. Immerhin erfordert dies später beschriebene Verfahren Präzisionsarbeit, die im Flugzeug immer eine bedenkliche Sache ist; Start und Landung, ja schon der normale Lauf der Maschine bedingen beträchtliche Erschütterungen, die jedes feinere Uhrwerk beeinflussen.

Aus diesen Gründen ging man daran, ein Instrument zu schaffen, daß bei einfacher Konstruktion wenigstens die letzten 100 m nachwirkungsfrei ist, da dieser Bereich gerade Wichtigkeit für die Landung besitzt.

Weiter ist versucht worden, die Luftdruckmessung durch eine Dichtemessung zu ersetzen, um von der Temperaturkorrektion loszukommen. Man kann das wieder auf zweierlei Art erreichen; entweder benutzt man einen besonderen Dichtemesser, wie er später beschrieben ist, oder man mißt gleichzeitig Druck und Temperatur.

Aber auch auf diese Weise sind noch nicht alle Daten zur Höhenbestimmung gegeben. Es ist nämlich klar, daß durch die Kenntnis einer einzigen Dichte in der Höhe x und einer zweiten, etwa in Meereshöhe zwar das der Größe x entsprechende Luftgewicht, nicht aber die Größe x selber bestimmt ist. Hierzu gehört vielmehr die Kenntnis sämtlicher Luftdichten zwischen 0 und x. Diese kann man

erhalten, wenn man die Angaben des Dichtemessers während des Anstiegs schriftlich fixiert, oder gleichzeitig Barograph und Thermograph verwendet. Dieses Verfahren wird vielfach zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Flugzeugen benutzt, es erfordert eine immerhin recht umständliche Auswertung und ist deshalb für momentane Ablesung im praktischen Gebrauch nicht verwendbar.

Der Pilot ist gewohnt, seine Anforderungen im allgemeinen nicht sehr hoch zu stellen und begnügt sich infolgedessen mit den — wie oben gezeigt — fehlerhaften Angaben des einfachen Aneroids. Oder vielmehr, er ist dazu gezwungen, denn mit den oben angeführten Instrumenten ist das Gebiet der absoluten Höhenmesser zur Zeit erschöpft. Es gibt kein Bezugssystem außer der Atmosphäre, das einem absoluten Höhenmesser mit Erfolg zugrunde gelegt werden könnte. Das Gravitationsfeld besitzt einen viel zu geringen Gradienten innerhalb der erreichbaren Flughöhen; astronomische Messungen fallen fort; das magnetische Erdfeld ist wechselnd und nicht eindeutig; das luftelektrische Feld ist völlig undefiniert.

β. Integrierende Höhenmessung.

Auf andere Möglichkeiten soll nur kurz hingewiesen werden, da sie für die Praxis nicht in Betracht kommen dürften.

Man kann Längen, hier also Höhen, dadurch messen, daß man Vertikalgeschwindigkeiten einmal oder Vertikalbeschleunigungen zweimal integriert. Man hat nämlich die beiden Gleichungen:

$$h = \int_{t_1}^{t_2} v\,dt \text{ und } h = \int_{t_1}^{t_2}\int_{t_1}^{t_2} c\,dt\,dt$$

wobei v die Vertikalgeschwindigkeit, c die von der Erdbeschleunigung befreite Vertikalbeschleunigung bedeutet. Man hätte also nach der ersten Methode die Angaben eines (später zu beschreibenden) Variometers über die Flugzeit zu integrieren. Da aber die Angaben auch des vollkommensten Variometers denen eines Barometers wesentlich unterlegen sind und gleichzeitig unkontrollierbaren Einflüssen, wie Dichteschwankungen, unterliegen, wäre ein solches Gerät völlig unbrauchbar. Nach der zweiten Methode wird die Messung der Vertikalbeschleunigung gefordert, ein Problem, das zur Zeit noch nicht gelöst ist; ganz abgesehen davon, daß eine zweimalige Integration nach der Zeit erfahrungsgemäß zu den gröbsten Fehlern Veranlassung gibt. So interessant also solche Instrumente vom wissenschaftlichen Standpunkt aus erscheinen mögen, so aussichtslos sind sie für die Praxis.

b) Höhenmessung mit wechselnder Basis (relative Höhe).

Hier bieten sich mehr Möglichkeiten; derartige Instrumente haben jedoch bisher nur beschränkte Verwendung gefunden, teils weil sie in der Einfachheit des Gebrauchs mit dem Barometer nicht konkurrieren können, teils weil sie schwer oder teuer sind. Trotzdem ist in neuester Zeit das Interesse für sie gewachsen.

α. Mechanische Höhenmessung.

Um die jeweilige Höhe des Flugzeugs über Boden zu messen, kann man — so töricht wie es zunächst klingen möge — einfach einen geeigneten Metermaßstab

Digitized by Google

anlegen. Dies Verfahren ist natürlich nur in unmittelbarer Bodennähe anwendbar; aber hier hat es zur Konstruktion eines sehr brauchbaren „Landungsmessers" geführt. Aus Gewichtsgründen stellte man diesen Maßstab zuerst aus einer Schnur oder einem Draht her, den man aus dem Flugzeug nach Art einer Antenne herabließ. Nun hängt aber bekanntlich eine solche Antenne nicht einfach geradlinig nach unten, sondern ist den Einwirkungen des Luftzuges und der Beschleunigungen ausgesetzt. Eine solche Vorrichtung konnte sich somit nicht bewähren. Als man sich jedoch darauf beschränkte, nur wenige Meter Höhe über Boden zu messen, was für eine normale Landung auch bei Nacht erfahrungsgemäß ausreichte, ging man zu festen Maßstäben über, Stahlrohren, die im Fluge unter dem Rumpf anliegen und vor der Landung heruntergeklappt werden können. Diese Methode hat sich zwar noch nicht eingebürgert, dürfte aber in Zukunft bei Nachtflügen eine Rolle spielen.

β. Optische Höhenmessung.

Begnügt man sich jedoch nicht mit der Messung weniger Meter über Boden, so wird eine direkte Messung „mit der Elle" unmöglich. Man hat hier mehrere Lösungen; am nächstliegenden sind optische Vorrichtungen, die sämtlich auf trigonometrischen Messungen beruhen. Man wirft entweder vom Flugzeug einen Lichtstrahl auf den Erdboden, der von einer anderen Stelle des Flugzeugs anvisiert wird; oder man erzeugt von zwei getrennten Stellen des Flugzeugs aus zwei Strahlenkegel, deren Bilder auf dem Erdboden je nach der Flughöhe verschieden liegen. Das letztere Verfahren ist anscheinend das bessere, da es die Aufmerksamkeit des Führers nicht sonderlich in Anspruch nimmt. Auf diesem Wege können Höhen bis zu 50 m und darüber noch einwandfrei beurteilt werden, wenn auch von einer exakten Messung kaum die Rede ist. In dies Gebiet fallen auch Hilfsmittel, die auf dem Flugplatze aufgestellt, dem Piloten die Landung erleichtern sollen. Am bekanntesten sind die sog. Hönigschen Kreise. Alle derartigen Vorrichtungen beruhen darauf, daß in verschiedenen Entfernungen aufgestellte Lichtquellen vom Auge des Piloten zu geometrischen Figuren zusammengesetzt werden, aus deren Form er auf die Höhe schließen kann. Hier handelt es sich also um Landungen auf vorgesehenen Plätzen. Bei allen optischen Höhenmessern ist aber Bodensicht vorausgesetzt; im Dunst versagen sie.

γ. Akustische Höhenmessung.

Ein weiteres Mittel zur relativen Höhenmessung für geringe Höhen ist die Benutzung akustischer Interferenzen. Eine Schallquelle im Flugzeug erzeugt Tonwellen, die vom Boden reflektiert werden und mit den ursprünglichen interferieren. Ein greifbarer Erfolg wurde auf diese Weise jedoch bisher nicht erzielt, weil die erheblichen Geräusche des Fluges selber das Ohr des Insassen zu einem schlechten Detektor machen und die Übersetzung akustischer Interferenzen etwa in Lichtzeichen auf große Schwierigkeiten stößt. Außerdem kämen nur äußerst tiefe Töne in Betracht.

Digitized by Google

δ. Elektrische Höhenmessung.

Größere Aussicht haben Versuche, die sich elektrischer Wellen bedienen; gemessen wird auch hier wieder die Interferenz. Bei allen solchen Instrumenten ist jedoch die Beschaffenheit des Bodens von maßgebender Bedeutung; Wälder, Gebäude und Unebenheiten jeder Art, sowie Wolken können den Erfolg in Frage stellen. Vielleicht wird man später einmal gerade aus dieser Tatsache heraus die Folgerung ziehen, daß der zuletzt erwähnte Apparat nicht eigentlich als Höhenmesser, sondern vielmehr als künstliches „Nebelauge" Verwendung findet, das imstande ist, bei Bodendunst die Natur des Landungsplatzes zu erfassen.

All die letztgenannten Vorrichtungen werden mit größerem Recht als „Höhenschätzer"[1]) bezeichnet; ihr Meßbereich ist nur sehr gering, ihre Angabe mehr oder weniger qualitativ. Man kann sie sogar durch noch einfachere Mittel ersetzen, die freilich auch noch ungenauer sind. So gibt z. B. eine nach unten geschossene Leuchtkugel durch ihre Fallzeit einen gewissen Anhalt; und gemäß dem Grundsatz: das Einfachste ist das Beste, soll sich schon mancher Pilot auf diese Weise aus einer unangenehmen Lage befreit haben.

ε. Kombinierte Höhenmessung.

Aus der am Aneroid abgelesenen, absoluten Höhe kann man die relative leicht erhalten, wenn man über eine hinreichend genaue Landkarte mit Höhenangaben verfügt. Man hat beide nur voneinander zu subtrahieren. Das ist denn auch das Verfahren, das allgemein angewendet wird. Findet z. B. die Landung auf einem Platze statt, dessen Höhe von der des Startplatzes verschieden ist, so bewährt sich der oben erwähnte Flugplatzzeiger auch für diesen Zweck.

ζ. Photographische Höhenmessung.

Es gibt jedoch ein Verfahren der relativen Höhenmessung, das an Genauigkeit alle bisher erwähnten, einschließlich des Barometers, weit in den Schatten stellt: die photographische Höhenmessung. Sie kann verschiedenartig ausgeführt werden, entweder durch Ausmessung einer einzigen Aufnahme unter Vergleichung mit einer genauen Karte oder durch Benutzung stereoskopischer Auswertung mehrerer Aufnahmen, die auch Schrägaufnahmen sein dürfen. Da jedoch hier die Ermittlung der Höhe erst nach dem Fluge geschehen kann, so ist dies Verfahren nur für besondere Zwecke (Landesaufnahme) von Bedeutung, hierfür aber sehr wertvoll.

η. Ballistische Höhenmessung.

Für den Zweck des gezielten Bombenwurfs schließlich benötigt man eine Methode der exakten, relativen und momentanen Höhenmessung, die es nach obigem noch nicht gibt. Man behilft sich deshalb folgendermaßen: Im Flachland kann man ohne größeren Fehler durch geeignete Anfangseinstellung des Barometers die

[1]) Über Höhenschätzen siehe auch: Harvey J. Howard, The Optician **58**, 285—289, 297 bis 299 (1920).

relative durch eine absolute Messung ersetzen. Ist das ohne weiteres nicht mehr möglich, so ermittelt man indirekt die Höhe durch den Abwurf einer Bombe aus der Fallzeit; meistens errechnet man hieraus erst gar nicht die Höhe, sondern geht mit dem Meßresultat der Fallzeit gleich an die Einstellung der Abwurfvorrichtung heran.

2. Barometrische Höhenmesser.

a) Höhenformeln.

Um eine einheitliche Höhenmessung zu ermöglichen, war es zunächst notwendig, sich auf eine bestimmte Höhenformel festzulegen. Es gibt deren eine ganze Anzahl; die genaueren enthalten als Veränderliche die Temperaturen am Meßort selber und am Boden, die mittlere Spannkraft des Wasserdampfes und die geographische Breite, die exaktesten auch die Zwischenwerte der Temperatur und der Dampfspannung. Anderen wieder liegt eine mittlere Temperatur oder auch der Temperaturgradient zugrunde. Genau genommen müßte man sogar noch Luftströmungen in ihrer Abhängigkeit von der Höhe hinein nehmen. Für die Praxis aber sind derartige Formeln unzweckmäßig, da die genannten Elemente meistens unbekannt sind. Es handelt sich also darum, gute Mittelwerte für sie aus der Erfahrung heraus zu gewinnen, die für praktische Zwecke ausreichen, für theoretische aber eine einfache Umrechnung erlauben.[1]) Als mittlerer Druck in Meereshöhe wurde an Stelle des gebräuchlichen Normaldrucks von 760 mm Hg ein solcher von 762 mm Hg, als mittlere Bodentemperatur 10° C eingeführt. Für den mittleren Wert des Temperaturgradienten wurde 5° C pro 1000 m Höhe angenommen. Die zugrunde gelegte Formel lautet:

$$h_2 - h_1 = 18\,400\left(1 + \frac{t'}{273}\right) \times lg\,\frac{b_1}{b_2}$$

wo b_1 und b_2 in mm Hg die Barometerstände in den Höhen h_1 und h_2 in m und $t' = \frac{t_1 + t_2}{2}$ die mittlere Temperatur in Celsiusgraden der zwischen h_1 und h_2 befindlichen Luftschichten bedeuten (*lg* ist der Briggsche Logarithmus).

Da nun die Eichung des Höhenmeßgeräts mit Hilfe von Quecksilberbarometern in Räumen geschieht, deren Temperatur ϑ von Fall zu Fall variieren kann, ist für eine Normaleichtabelle auch noch diese Temperatur ϑ zu berücksichtigen. Man erhält alsdann folgende, allen Eichungen zugrunde gelegte Normaltabelle

[1]) Neuere Literatur über Luftdichte: Fr. Linke, Beitr. z. Phys. d. freien Atmosph. **8**, 73—85, 194—199 (1919); O. Tetens, Arb. d. Preuß. Aeron. Observ. Lindenberg **13**, 25—40 (1919). — Luftdichte und Temperaturverteilung: E. Everling, Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt **11**, 121—124 (1920); A. Berson, Der Luftweg **4**, 11 (1920); H. T. Tizard, Engeneering **108**, 527—528, 561—563 (1919); M. Tenani, Lincei Rend. (5) **28** (2), 34—38 (1919). — Höhe und Wasserdampf: Hergesell, Naturwissensch. **7**, 63 (1919). — Höhe und Windgeschwindigkeit: F. Bradtke, Meteor. Zeitschr. **35**, 313—315 (1918); V. Láska, Meteor. Zeitschr. **35**, 315—316 (1918). — Barometrische Höhenformel und -tafeln: J. Liznar, Meteor. Zeitschr. **35**, 276—280 (1918); W. Jordan und E. Hammer, Meteor. Zeitschr. **36**, 50—51 (1919). — Graphische Tafel der Luftdichte: W. Block, Zeitschr. f. techn. Phys. **1**, 278—280 (1920).

Normalskala (N.S.) der Barometerstände für Höhen bis 10000 m.
Bei jeder Eichung ist die Temperatur des Prüfraumes gemäß untenstehender Tabelle zu berücksichtigen.

Höhe in km	Temperatur des Eichraums (ϑ).					
	5°	10°	15°	20°	25°	30°
0	760,0	761,0	761,5	762,0	762,5	763,0
0,5	715,5	716,0	715,5	717,0	718,0	718,5
1	673,0	673,5	574,0	574,5	675,0	675,5
1,5	532,5	633,0	633,5	634,0	634,5	635,0
2	594,5	595,0	595,5	595,0	596,5	597,0
2,5	558,5	559,0	559,5	559,5	560,0	560,5
3	524,0	524,5	525,0	525,5	525,5	525,0
3,5	491,5	492,0	492,5	492,5	493,0	493,5
4	461,0	451,0	461,5	462,0	462,5	462,5
4,5	432,0	432,0	432,5	433,0	433,0	433,5
5	404,0	404,5	405,0	405,0	405,5	406,0
5,5	378,0	378,5	379,0	379,0	379,5	380,0
6	353,5	354,0	354,5	354,5	355,0	355,0
6,5	330,5	331,0	331,0	331,5	332,0	332,0
7	309,0	309,0	309,5	309,5	310,0	310,0
7,5	288,5	288,5	289,0	289,0	289,0	289,5
8	269,0	269,0	269,5	269,5	269,5	270,0
8,5	250,5	250,5	251,0	251,5	251,5	251,5
9	233,5	233,5	234,0	234,0	234,5	234,5
9,5	217,5	217,5	217,5	218,0	218,0	218,0
10	202,0	202,5	202,5	202,5	203,0	203,0

Eine weitere Frage war die, ob man die Skalenteilung linear oder logarithmisch gestalten solle. Aus verschiedenen Gründen entschied man sich bei Höhenmessern für die lineare, bei Höhenschreibern jedoch, wo die Durchführung dieser Form auf konstruktive Schwierigkeiten stieß, für die logarithmische Einteilung. Eine mit der wachsenden Steigleistung der Maschinen zusammenhängende Erscheinung war die fortwährend nötig werdende Erweiterung des Bereichs. Die anfangs gebrauchten 4000 m-Geräte wurden allmählich durch 5000, 6000, 7500, 8000 m verdrängt und letzthin zeigte sich sogar eine Nachfrage nach 10000 und 12000 m Geräten. Von allen diesen Typen hat sich in erster Linie die 8000 m-Einheitsform, in zweiter Linie die 5000 m-Form erhalten, letztere insbesondere für Abnahmeflüge. Es ist selbstverständlich, daß die absolute Genauigkeit bei Instrumenten geringeren Bereichs größer ist, als bei solchen ausgedehnteren Bereichs. Die einer Erhebung um 8000 m entsprechende Durchbiegung der heute verwendeten Dose stellt bereits eine Beanspruchung dar, die die Elastizitätsgrenze zwar noch nicht erreicht, aber immerhin Veranlassung zu nicht unerheblichen elastischen Nachwirkungen gibt. Wir kommen unten auf diese Frage zurück.

b) Höhenmesser.

α. Dosen und Bourdonrohre.

Wie gesagt, stellt der große Meßbereich hohe Anforderungen an die Durchbildung der Dose. Nicht nur die extreme Deformation, sondern auch die verhältnis-

mäßig schnellen Luftdruckwechsel, die im Fluge auftreten, bilden für die Höhenmessertechnik ein neues Gebiet, auf dem noch wenig Erfahrungen vorliegen. Grundsätzlich hat man zu unterscheiden zwischen einem nachwirkungsfreien Gang, einem Gang mit rein temporärer Nachwirkung und endlich einem Gang mit dauernden Deformationen. Die erste, erstrebenswerteste Form kann nur durch sachgemäßeste Auswahl und Bearbeitung der Materialien erreicht werden und mit Sicherheit auch nur bei Meßbereichen bis zu etwa 5000 m, was etwa einer halben Atmosphäre Unterdruck entspricht. In den häufigsten Fällen haben wir es mit einer durchaus merkbaren temporären Nachwirkung zu tun, die mehrere Prozent[1]) betragen kann. Das Störendste hierbei ist, daß eine solche Nachwirkung noch abhängig von der Vorgeschichte der Dose ist, in dem Sinne, daß sie nur reproduzierbar ist, wenn die Dose sich in regelmäßigem Gebrauch befindet, nach langer Ruhe jedoch wesentliche Abweichungen zeigt, die in das Gebiet der dauernden Deformation fallen (sog. „jungfräuliche Kurve"). Künstliches Altern kann diese Erscheinung, wenn auch nicht völlig, so doch ausreichend beseitigen. Als wesentlichste Mittel zur Vermeidung dieser Übelstände haben sich ergeben: Wahl eines guten Materials, Bevorzugung von Dosen mit großem Durchmesser und nicht zu geringer Wandstärke und endlich Verwendung breiter Füße; mit anderen Worten: die elastische Nachwirkung ist um so geringer, je kleiner die Kompressibilität der Dose ist.[2]) Um trotzdem den nötigen Hubweg zu erzielen, müssen häufig Dosensätze angewandt werden. Ein weiterer Fehler ist das Auftreten sog. Krikri-Erscheinungen (Meisterspannung), d. h. Unstetigkeiten bei der Ausdehnung. Sie sind wohl meistens auf schlechte Drückerarbeit an den Membranen zurückzuführen, bisweilen auch auf schlecht gewählte Matrizenformen. Sie treten hauptsächlich beim Übergang aus der konkav- in die konvexgewölbte Krümmung auf. Es ist deshalb wünschenswert, diesen Übergang gänzlich zu vermeiden, was entweder dadurch geschieht, daß man den Dosen von vornherein eine geringe konvexe Wölbung gibt oder eine so stark konkave, daß der Übergang selbst bei äußerster Beanspruchung noch nicht erreicht wird. Bei der Herstellung der Dose ist dringend darauf zu achten, daß keine Reste von Lötwasser in ihr verbleiben, da die sich bildenden Dämpfe die Anzeige fälschen und Temperaturempfindlichkeit hineinbringen. Als Lötmittel empfiehlt sich Kolophonium. Poröses Dosenmaterial ist natürlich unbrauchbar; undichte Dosen wurden bei handgedrückten seltener beobachtet als bei maschinell gepreßten.

Bourdonrohre an Stelle von Dosen haben sich bei Höhenmessern nicht schlecht bewährt; sie scheinen bei geeigneter Formgebung das Material zu schonen und geben trotzdem große Hubwege. Über Gasfüllung der Dosen siehe unten.

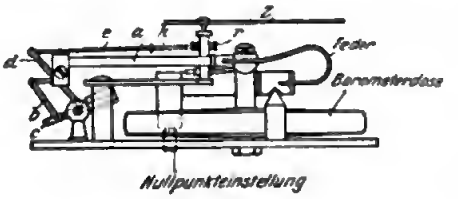
Ob man die Gegenfedern besser nach innen oder außen verlegen soll, ist eine offene Frage. Innenfedern haben den Vorteil, gegen Feuchtigkeit besser geschützt zu sein, bilden jedoch häufig Reibungsflächen mit den Wänden oder unter sich und sind weniger genau zu richten. Ihre Spannungen können durch das Zulöten leiden. Bei Gegenwart von Lötwasser werden sie angegriffen. Außenfedern dürften somit vorzuziehen sein, sind jedoch bisher noch nicht allgemein üblich.

[1]) Z. B. tritt nach einer Maximalflughöhe von 5000 m bei der Landung leicht ein Nachhinken von 100 m ein.

[2]) Siehe auch: E. Warburg und W. Heuse, Verh. d. d. phys. Ges. 17, 206 (1915).

β. Hebelwerk.

Abb. 83 u. 84 gibt eine schematische Darstellung eines normalen Werkes, Abb. 85 bis 89 stellen Ausführungen verschiedener Firmen dar. In den Fällen 83, 85, 88 und 89 ist die Dose auf dem Boden gelagert, und das Hebelwerk greift von oben an. Es hat in diesem Falle drei Aufgaben zu erfüllen: einmal die Erzielung des großen Hubweges, andererseits die Linearmachung der Anzeige und endlich eine Umsetzung der vertikalen Bewegung in eine horizontale. Die Aufgaben werden von den einzelnen Firmen verschieden gelöst.



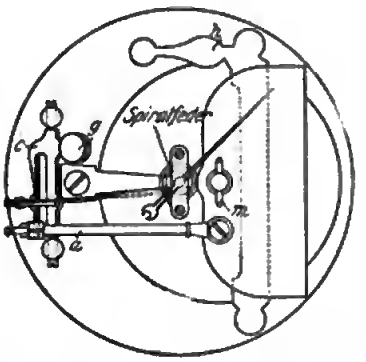


Abb. 83 u. 84. Normales Hebelwerk des Höhenmessers.

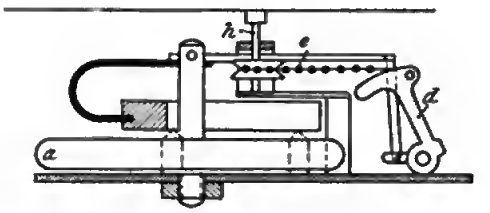


Abb. 85. Hebelwerk (Scholz).

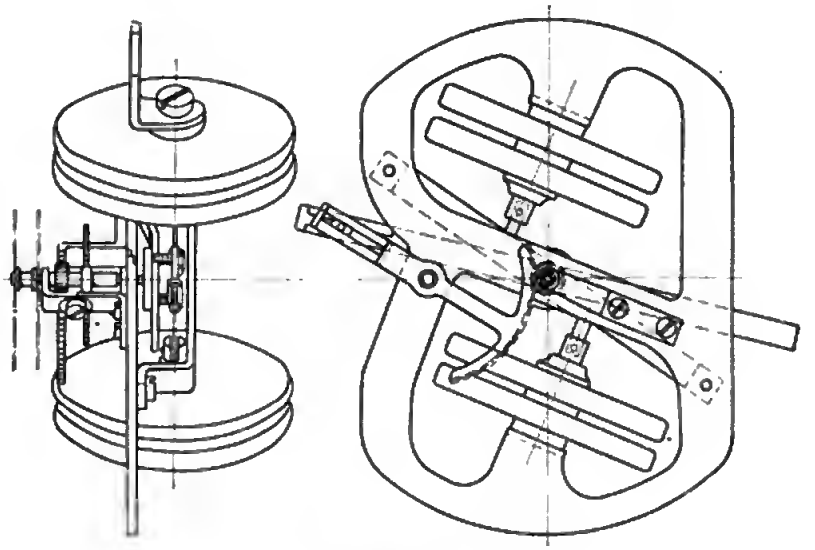


Abb. 86. Hebelwerk (Goerz).

Die Erzielung eines großen Hubweges erfordert beste Präzisionsarbeit der Spitzenlagerung und absolute Vermeidung toten Ganges. Zu letzterem Zwecke steht das Werk unter Gegenspannung, die durch eine schwache Spiralfeder ausgeübt wird. Die Linearmachung kann durch feste Hebel zur Genüge erreicht

werden. Die Firma Scholz (Abb. 85) erreicht sie durch Auflage der benutzten Kette *e* auf eine entsprechend geformte Nase *d*. Die Aufrichtung der Bewegung wird in den meisten Fällen durch eine Kettenübertragung gelöst; diese stellt

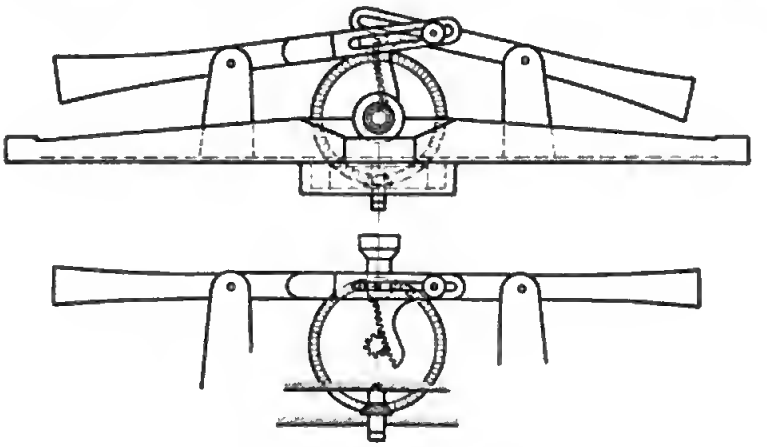


Abb. 87. Hebelwerk (Goerz).

das empfindlichste Element des Werkes dar. Da bisher lediglich Schweizer Kettenfabrikate in Betracht kamen, wurden Versuche angestellt, diese im übrigen kostspieligen Gebilde durch Gleichwertiges zu ersetzen. Versuche mit Fäden, die

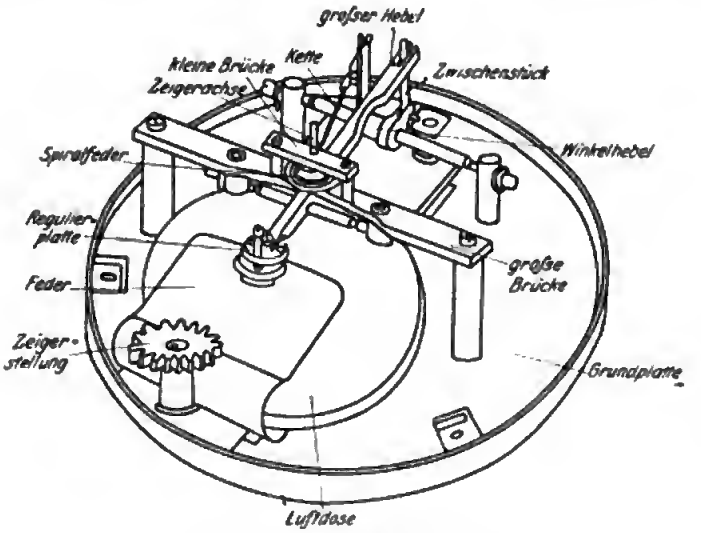


Abb. 88. Hebelwerk (Kröplin).

gegen Feuchtigkeitseinflüsse besonders imprägniert waren, führten nicht zum Ziele, schon aus dem Grunde nicht, weil sie sich beim Aufwickeln häufig nicht parallel legen. Benutzung von Schraubengängen, die dies erzwingen sollten, hat sich anscheinend nicht bewährt. Außerdem sind solche Fäden zu steif, nutzen sich leicht ab und sind trotz Imprägnierung Witterungseinflüssen unterworfen. Somit

kamen die meisten Firmen auf Ketten zurück. Lediglich der Höhenmesser der Firma Goerz (Abb. 86) kann von einer solchen absehen, da bei ihm infolge der vertikalen Lage der Dosen eine Aufrichtung des Hubweges fortfällt; an ihre Stelle tritt eine Segmentübertragung. Bei guter Ausführung derselben ist kaum etwas gegen sie einzuwenden, da etwaige Zahnluft durch eine Gegenfeder aufgehoben werden kann. Nebenbei sei bemerkt, daß solche Gegenfedern unter Umständen zu Schwingungen führen können, weswegen genaue Ausbalancierung des Systems notwendig ist. Auf weitere Einzelheiten der Werke einzugehen, ist hier nicht der Platz, da sie außerordentlich verschieden ausgeführt werden können und eine prinzipielle Schwierigkeit bei ihnen kaum vorliegt.

Abb. 89. Hebelwerk (englisch).

γ. Zeiger und Skala.

Das Schaubild der Höhenmesser, das in verschiedenen Formen aus den Abb. 90 bis 92 ersichtlich ist, wurde, um Einheitlichkeit zu erzielen, schließlich nach Abb. 93 normalisiert, sowohl hinsichtlich der Größe des Blattes, der Teilung und der Ziffern wie auch der Anordnung. Dabei wurde der Gang wiederum rechtsläufig gewählt und der Nullpunkt im Gegensatz zu den Drehzahlmessern nach unten verlegt.

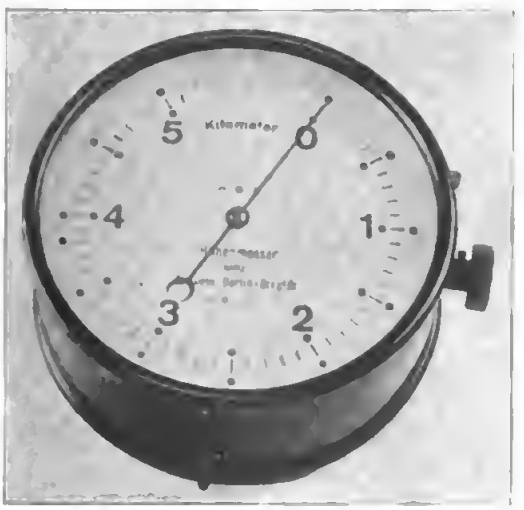


Abb. 90. Höhenmesser (Fuess).

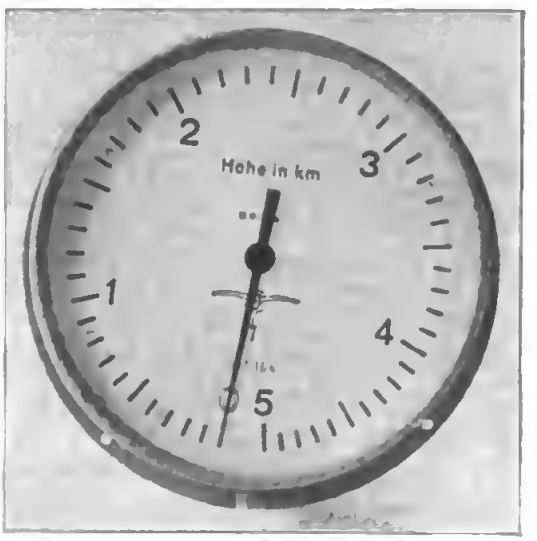


Abb. 91. Höhenmesser (Goerz).

Es soll sich hierin der instinktive Begriff des „Untenseins" ausdrücken. Derartige kleine Feinheiten, die unbewußt in das Gefühl übergehen, sind gerade in der Fliegerei nicht zu unterschätzen.

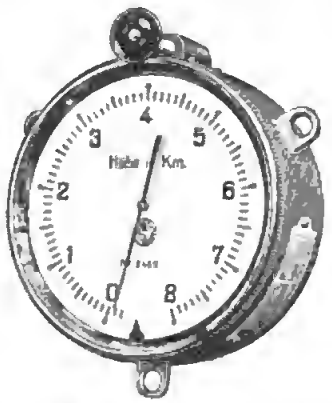
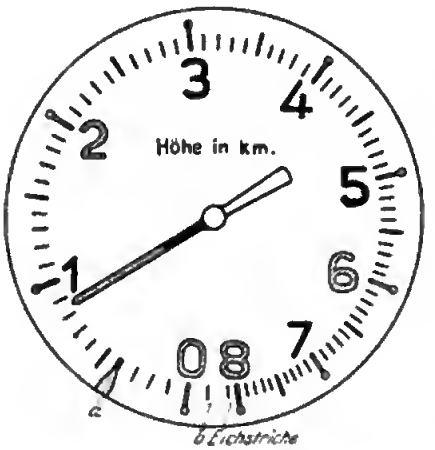


Abb. 92. Höhenmesser (Scholz).

Da Höhenmesser bei Nachtflügen von großer Bedeutung werden, so ist für diese Zwecke eine Radiumbelegung (nach Abb. 93) festgelegt worden. Während nichtleuchtende Skalen im allgemeinen weiß mit schwarzem Aufdruck gehalten werden, ist es Grundsatz, bei allen Skalen mit Radiumbelegung einen schwarzen Grund vorzusehen, auf dem sich bei Tage die weiße Beschriftung und bei Nacht die helle Radiumbelegung deutlich abheben. Es ist leicht verständlich, daß ein weißer Grund in diesem Falle äußerst unpraktisch wäre. Während nämlich bei Tage die schwach gefärbte Radiumbelegung dunkler als ihr weißer Grund erscheint, findet bei Nacht das Gegenteil statt; in der Dämmerung tritt somit ein Zeitpunkt ein, wo die Beschriftung gänzlich verschwindet. Erfahrungsgemäß werden gerade in



Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes: 110 mm. Durchmesser des inneren Teilstrichkreises 88 mm. Kurze Striche: Länge 4 mm, Stärke 0,8 mm. Lange Striche: Länge 6 mm, Stärke 1,3 mm. Größe der Zahlen 10 mm, Strichstärke 1,3 mm. Schwarzer Grund, weiße Zahlen und Zeiger. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

Abb. 93. Normalzifferblatt des Höhenmessers.

dieser Zeit besonders häufig Landungen ausgeführt, bei denen Höhenablesungen sehr erwünscht sind.

8. Gehäuse.

Der hohe Meßbereich nötigte zu einer verhältnismäßig großen Dimensionierung der Dosen und somit des Gehäuses. Andererseits spricht auch die Wichtigkeit dieses Instruments dafür, das Schaubild nicht zu klein zu halten. Die Normalform, die aus Abb. 94 zu ersehen ist, erwies sich später jedoch für D-Flugzeuge als zu unhandlich, so daß für diese ein mittlerer Typ (Abb. 95) geschaffen wurde, der aber als ungenauer anzusehen ist, so daß im allgemeinen die große Form auch heute noch vorzuziehen bleibt. Auf besonderen Wunsch einzelner Flieger wurde

sogar noch ein kleiner Typ eingeführt (Abb. 96 und 97), der jedoch wegen seiner Ungenauigkeit lediglich als Hilfsmittel bei Verlust oder Versagen der anderen zu

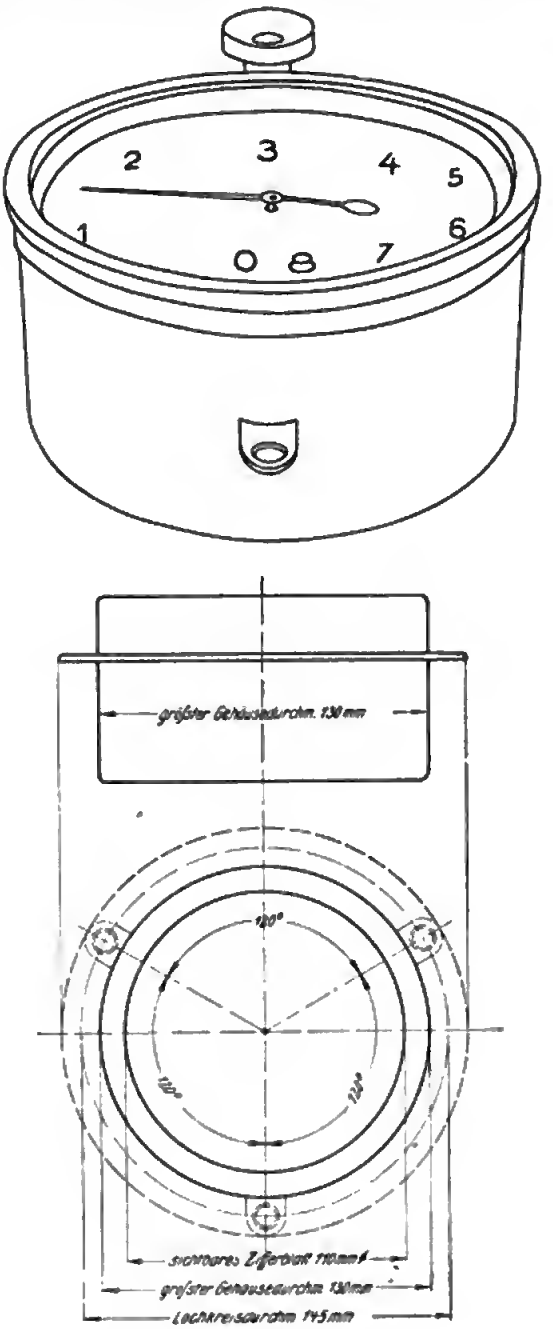


Abb. 94. Normalhöhenmesser (großer Typ).

betrachten ist. Handelt es sich um Herabsetzung des Meßbereichs, d. h. um Flughöhen, wie sie beim einfachen Überlandflug die Regel sind, so stände dem nichts

im Wege, auch solche kleinen Typen mit genügender Präzision auszustatten. Unsere Gegner benutzten durchweg kleinere Formate, die anfangs den unseren erheblich

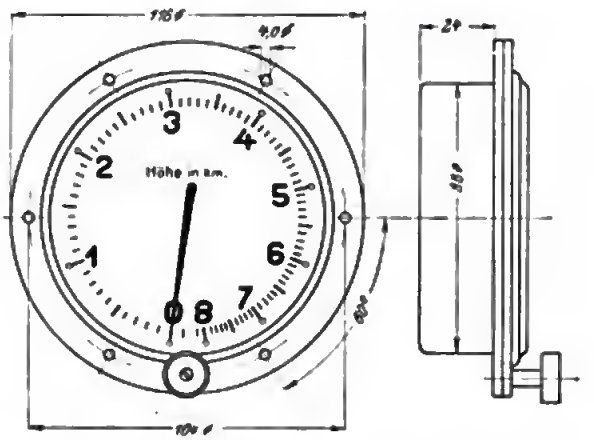


Abb. 95. Normalhöhenmesser (mittlerer Typ).

unterlegen waren, später jedoch sich ihnen gleich, wenn nicht überlegen zeigten (Abb. 98 und 99).

Die Gehäuse müssen vollkommen staubsicher sein, was häufig nicht der Fall

(Skalendurchmesser 60 mm.)

Abb. 96. Höhenmesser (Lufft). (Kleiner Typ.)

Abb. 97. Armbandhöhenmesser (Scholz).

ist; dazu ist es nötig, daß die die Luftkommunikation herstellenden Öffnungen Staubfallen besitzen. Diese Öffnungen müssen sich an geschützter Stelle befinden und zu mehreren angeordnet sein, um eine durch den Staudruck verursachte falsche Anzeige zu vermeiden.

Abb. 98. Englischer Höhenmesser.

Abb. 99. Englischer Höhenmesser.

ε. Regulierung und Flugplatzzeiger.

Die Regulierung des Werkes wegen des wechselnden Barometerstandes erfolgt am besten durch einen Kordelgriff (siehe Abb. 100, auch 92), der von vorn zu

bedienen ist. Seine Wirkung erfolgt entweder auf das ganze innere Werk oder lediglich auf die Skala, ungünstiger nur auf den Dosenfuß. Dadurch wird ein direkter Eingriff in das Werk vermieden. In Abb. 93 stellt *a* den sog. Flugplatzzeiger dar (auch Abb. 92), der zur Markierung der Flugplatzhöhe auf der Skala dient und dessen Zweck wir in der Einleitung bereits erwähnten. Er muß direkt mit der Skala in Verbindung stehen, d. h. er soll bei einer Regulierung durch die Kordelschraube seine Stellung bezüglich ersterer nicht ändern. Erfolgt die Regulierung durch Drehung des gesamten Werkes, so kann er mit der Deckglasscheibe drehbar angeordnet werden. Bei Regulierung durch die Skala muß er sich gleichzeitig mit dieser bewegen; dadurch wird erreicht, daß die häufig vorzunehmende Wetterkorrektur seine Einstellung nicht berührt.

Abb. 100. Reguliervorrichtung.

ζ. Temperaturkorrektion.

In Anbetracht des sehr erheblichen Wechsels der Temperatur im Fluge, sowie der meist ungeschützten Aufhängung der Höhenmesser ist die Unabhängigkeit von der Temperatur eine erste Bedingung. Sie kann zunächst erfolgen durch Luftzusatz in der Dose. Um Oxydation zu vermeiden, ist Stickstoffüllung zu bevorzugen; selbstverständlich sind Dämpfe (Wasser) für diesen Zweck nicht geeignet. Im allgemeinen benötigt man nur ganz geringe Drucke, die sich am besten experimentell ermitteln lassen. Oder aber man benutzt, und zwar namentlich bei Höhenmessern, weniger bei Schreibern, Bimetallstreifen, die in bekannter Weise wirken. Man verlegt sie am besten in den Hebelarm. Derartige Korrekturen kann man rechnerisch sehr wohl beherrschen. Über die auf diesem Wege erzielte Unabhängigkeit von der Temperatur kann leider keine eingehende Mitteilung gemacht werden, da die Prüfung besondere Thermorezipienten beansprucht und sich kaum in Serien ausführen läßt. Einzelne der Prüfung unterzogenen Exemplare zeigten eine für praktische Zwecke hinreichende Unabhängigkeit. Da jedoch auch die herstellenden Firmen nur selten in der Lage sind, derartige Messungen auszuführen, so ist anscheinend auf diesem Gebiet noch nicht das Äußerste geleistet. Ein verhältnismäßig einfaches Verfahren zur Prüfung besteht darin, daß man sie im Flugzeug selber unter Benutzung eines künstlich erwärmten Normalinstruments vornimmt.

η. Nachwirkungskorrektion.

Bisher konnte die elastische Nachwirkung ausschließlich durch geeignete Ausführung der Dosen herabgedrückt werden, vollkommen beseitigt ist sie dadurch

noch nicht, wenn auch einzelne Firmen, wie besonders Ott, recht günstige Ergebnisse erzielten. Über ihre zahlenmäßige Definition folgt im Absatz „Eichung" (Seite 114) näheres. Bei starker Beanspruchung sind Abweichungen im Maximum von 150 m Höhenanzeige selbst bei besseren Fabrikaten nicht ausgeschlossen. Die hier zu betrachtende Nachwirkung hat natürlich nichts mit totem Gang oder Lageempfindlichkeit zu tun; es ist die Erscheinung, daß das Instrument bei Auf- und Abstieg gleiche äußere Drucke verschieden notiert.

Ein neues Verfahren wurde[1]) vom Verfasser angegeben und im Laboratorium erprobt. Die praktischen Versuche haben die Brauchbarkeit erwiesen. Es beruht auf folgender Überlegung (Abb. 101): Stellt man zwei elastische Systeme (Dosensätze *a* und *b*) versetzt einander gegenüber und verbindet die freien Füße durch einen starren Stab *c*, so wird dieser bei gleichzeitiger Druckbeanspruchung beider Dosensätze eine Drehung ausführen. Die wahre Ausdehnung von *a*, die sich rechnerisch nach der Eliminierung der Nachwirkung ergibt, sei doppelt so groß als die von *b*. Die Mitte *d* von *c* wird somit infolge der Druckänderung einen endlichen Weg zurücklegen. Nun seien außerdem die Systeme *a* und *b* mit gleicher Nachwirkung behaftet. Diese wird jedoch keinen Einfluß auf den Mittelpunkt *d* ausüben, da letzterer für die Nachwirkungsdeformation Drehpunkt ist. Daraus geht hervor, daß die Bewegung des Punktes *d* völlig nachwirkungsfrei ist; er kann als Angriffspunkt für ein Hebelwerk dienen. Ganz allgemein kann man zwei beliebige Dosensysteme verschiedener Dimensionierung auf genannte Weise verbinden und wird, wie die Theorie zeigt, immer einen Punkt *e* des Stabes *c* finden, der nachwirkungsfrei arbeitet. Erste Versuche dieser Art ergaben eine Herabminderung der Nachwirkung auf wenige Prozent ihres normalen Wertes. Auch bei Manometern kann das Verfahren Verwendung finden.

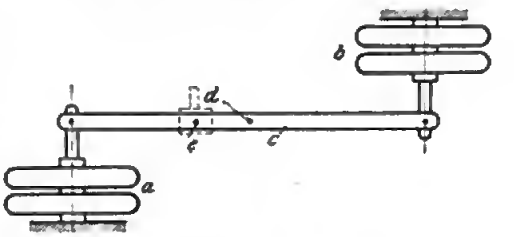


Abb. 101. Schema einer nachwirkungsfreien Dosenanordnung.

9. Montage.

Gerade für Höhenmesser spielt der Ort der Unterbringung eine ausschlaggebende Rolle. Abgesehen von den praktischen Gesichtspunkten der unbedingten Ablesbarkeit auch im Nebel, der Erreichbarkeit, um Einstellungen vornehmen zu können, und der Sichtbehinderung ist namentlich der durch den Flug hervorgerufene Staudruck zu berücksichtigen. Eine Wirbelbildung kann erhebliche Druckdifferenzen hervorbringen, die z. B. an verschienenen Stellen des Rumpfinnern bis zu 8 mm beobachtet wurden; in größeren Höhen bedeutet das aber schon einen Fehler von Hunderten von Metern. Somit ist bei der Wahl des Ortes namentlich im Rumpfe Vorsicht zu üben. Frei zwischen den Streben oder den Spanndrähten aufgehängte Höhenmesser sind diesem Fehler weniger unterworfen, vorausgesetzt, daß ihr Gehäuse an mehreren Stellen durchbrochen ist, um einen Druckausgleich zwischen evtl. auftretenden Staudruckdifferenzen herbeizuführen. Derart auf-

[1]) K. Bennewitz, Physik. Zeitschr. 21 703 (1920) 22 329 (1921).

Abb. 102. Aufhängung mittels Gummischnüre eines Höhenmessers.

Abb. 103. Aufhängung im Ledergehäuse.

Digitized by Google

gehängte Instrumente sind natürlich stark den Temperaturschwankungen ausgesetzt. Als Mittel zur Befestigung dienen am besten Gummischnüre oder übersponnene Spiralfedern, die unter möglichst starker Spannung stehen sollen (siehe Abb. 102). Auch Lederriemen sind geeignet (siehe Abb. 103).

c) Barometrische Landungsmesser.

Da selbst der beste Höhenmesser nur eine Genauigkeit von etwa $^1/_4$% erreichen dürfte, sind z. B. bei 8000 m-Typen Fehler von 20 m Höhenanzeige am Boden kaum zu vermeiden. Das oben erwähnte Verfahren zur Vermeidung der Nachwirkung schränkt diesen Fehler ganz erheblich ein. Es sollen im folgenden zwei weitere Verfahren mitgeteilt werden, die vom Verfasser vorgeschlagen, bisher jedoch noch nicht eingeführt wurden.

α. Kapsellandungsmesser.

Die elastische Nachwirkung ist im wesentlichen der vorausgegangenen Beanspruchung proportional. Setzt man also eine Dose von einer bestimmten Flughöhe an (etwa 150 m) außer Tätigkeit, so wird der Fehler wesentlich kleiner, die Skalen ausgedehnter und infolgedessen genauer. Dies kann dadurch erreicht werden, daß man (Abb. 104) die Dose *a* mit einer massiven Kapsel *b* umgibt, die sich der Dosenform in mäßiger Flughöhe fest anschmiegt. Das Material der Dose wird auf diese Weise vor jeder Überanstrengung geschützt. Hat ein solches Instrument nur eine Genauigkeit von 1 %, so kann bereits eine Höhe von 1 m am Boden gemessen werden.

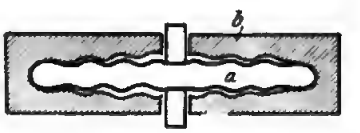


Abb. 104.
Kapsellandungsmesser.

β. Stufenlandungsmesser.

Denselben Erfolg kann man auf eine andere Weise erzielen: Man denke sich einen empfindlichen Höhenmesser *a* (Abb. 105; Meßbereich etwa 150 m) in einen Raum *d* eingeschlossen, der durch ein Ventil *b* luftdicht abgesperrt werden kann; letzteres wird durch eine zweite Dose *c* betätigt. Dieser Vorgang erfolgt etwa in einer Flughöhe von 100 bis 200 m, wobei der Spielraum der Nachwirkung der Dose *c* zugute geschrieben wird. Jedenfalls erreicht man auf diese Weise, daß die Dose *a* nur unterhalb einer gewissen Druckhöhe in Tätigkeit tritt und deshalb genauer arbeiten kann.

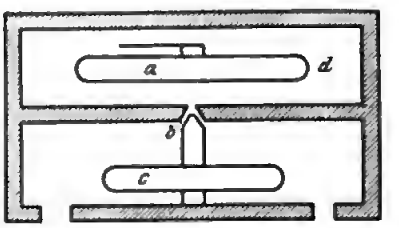


Abb. 105. Stufenlandungsmesser.

So verhältnismäßig einfach und zweckmäßig diese beiden Verfahren erscheinen mögen, so darf doch nicht übersehen werden, daß sie eine stabile Wetterlage und einen Landeplatz bestimmter Höhe voraussetzen. Diese Aufgabe läßt sich jedoch auf barometrischem Wege nicht lösen, sondern soll unter den später zu besprechenden mechanisch-optischen Geräten behandelt werden.

d) Höhenschreiber.

In Anbetracht des Umstandes, daß eine einmalige Ablesung eines Höhenmessers selbst bei Berücksichtigung der lokalen Temperatur immer nur einen Näherungswert liefern kann und daß für eine genaue Auswertung der Höhe die Kenntnis des Verlaufs der ganzen Druckkurve in Verbindung mit einer Temperaturkurve nötig ist, war man gezwungen, für genauere Bestimmungen den Höhenmesser durch einen Höhenschreiber zu ersetzen. Namentlich gewann dieser seine Bedeutung für die Beurteilung von Steigleistungen, also bei Prüfungs-, Abnahme- und Rekordflügen. Einmal vorhanden, ging er jedoch bald in das ständige Instrumentarium des Fliegers über, der seine Diagramme als Tagebuch zu betrachten pflegt. Wenn ein Höhenschreiber bei dieser Art der Verwendung auch mehr als Luxus anzusehen ist, so kann er doch einmal als Kontrollgerät größere Bedeutung gewinnen, etwa zur Überwachung des fliegenden Personals bei Verkehrsflugzeugen und für ähnliches.

Die in diesem Abschnitt zu behandelnden Höhenschreiber sind einer ziemlich durchgreifenden Normalisierung unterzogen worden, die sich schon in Hinsicht auf die gleichmäßige Verwendbarkeit der benutzten Diagrammstreifen als notwendig erwies. Sie bauen sich im wesentlichen auf dem zuerst von der Firma Goerz geschaffenen Typ auf und erfuhren nach und nach weitere Verbesserungen. Für die zuletzt genannten Zwecke sind sie bei weitem ausreichend; zur Messung von Steigleistungen aber stellen sie heute lediglich einen Notbehelf dar. Namentlich nachdem sich die Flugleistungen derart verbessert und ausgeglichen haben, daß bei Abnahmekriterien bereits 20 m eine Rolle zu spielen beginnen, werden Anforderungen an den Höhenschreiber gestellt, die dieser in der normalisierten Form nur ausnahmsweise zu erfüllen imstande ist. Für diesen Zweck hat sich somit das Bedürfnis nach einem Instrument mit höherer Präzision herausgestellt. In einem weiteren Abschnitt sind Anforderungen an einen solchen Typ und Hilfsmittel zu ihrer Bewältigung zusammengestellt, die den Weg für die zukünftige Entwicklung zeigen sollen.

Der Normalhöhenschreiber.

α. Dosen.

In Anbetracht der mit der Schreibarbeit verbundenen Reibung ist der Dosenweg des Höhenschreibers größer zu bemessen, als der der bloßen Meßgeräte. Es kommen somit ausschließlich Dosensätze in Betracht, für die im großen Ganzen das oben Gesagte gilt. Die Verbindung je zweier Dosen, die durch Schraubenfüße hergestellt wird, muß absolut starr und frei von totem Gang sein. Eine Lockerung der Schrauben kann durch Erschütterungen des Flugzeugs leicht eintreten. Die Verwendung zu zahlreicher Dosen hat sich wegen der dabei auftretenden Unstarrheit als nachteilig erwiesen. Gerade bei Dosensätzen ist die Verwendung breiter Füße vorteilhaft.

β. Hebelwerk.

Für die verschieden gestalteten Hebelwerke der einzelnen Typen (Abb. 106) wurden folgende allgemeine Gesichtspunkte aufgestellt: Die Lagerung des Hebelwerks muß auf einer Grundplatte zugleich mit der Dose erfolgen; so ist die Schlußwand zur Lagerung nur zu benutzen, wenn sie mit der Grundplatte ein Gußstück

bildet. Verschraubungen beider sind selbst bei Anwesenheit von Streben bedenklich, da beide Teile heftigen Zerrungen ausgesetzt sind. Alle Hauptachsen sind doppelt zu lagern; ihre Länge ist möglichst groß zu bemessen, um jede Verkantung

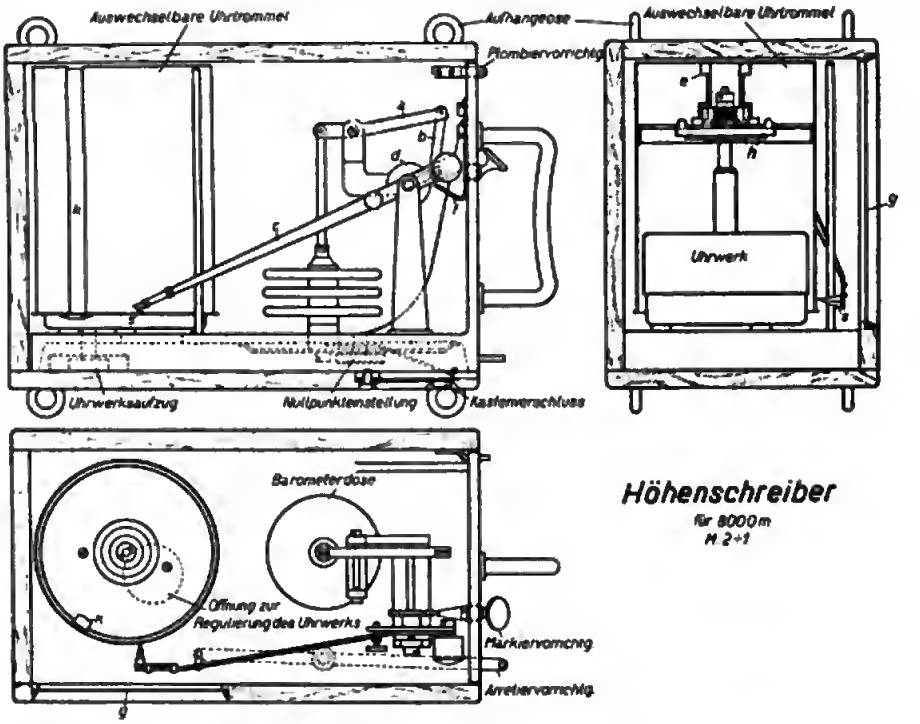


Abb. 106. Schema des Normalhöhenschreibers.

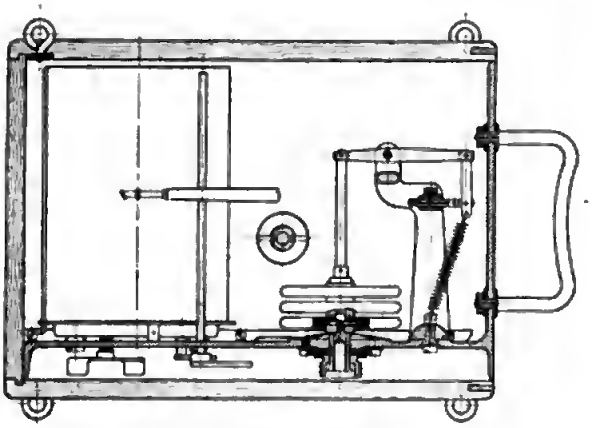


Abb. 107. Höhenschreiber (Goerz).

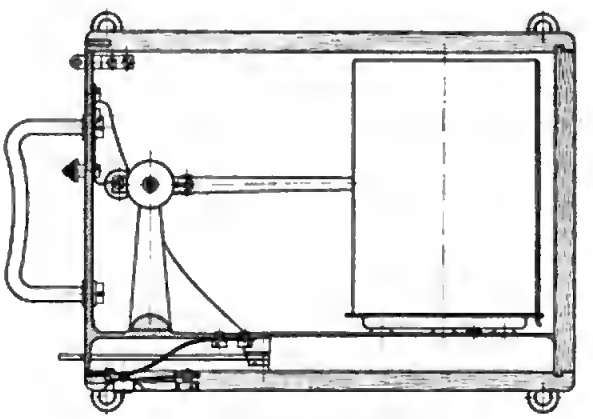


Abb. 108. Höhenschreiber (Goerz).

zu vermeiden. Das Hebelwerk muß dauernd unter Spannung stehen, was am einfachsten durch eine schwache Gegenfeder an der Schreibhebelachse erreicht wird. Gewichte zu diesem Zweck sind zu verwerfen, wohl aber dürfen sie zur Ausbalancierung dienen. Überhaupt ist dieser ganze Teil einschließlich des Schreibhebels infolge seiner nicht unerheblichen Massen den Beschleunigungen des Fluges stark

ausgesetzt. Das ganze System muß so beschaffen sein, daß die Zusammenwirkung seines Trägheitsmoments und der angreifenden Federkräfte nicht zu Eigenschwingungen Veranlassung gibt. Gleichzeitig muß es natürlich lageunempfindlich sein.

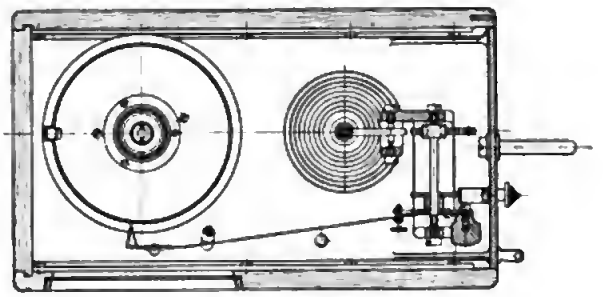


Abb. 109. Höhenschreiber (Goerz).

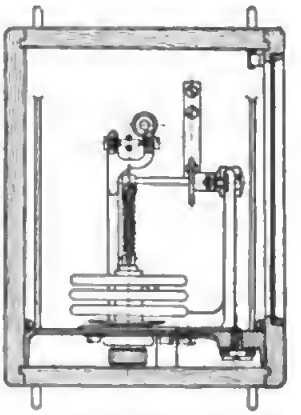


Abb. 110. Höhenschreiber (Goerz).

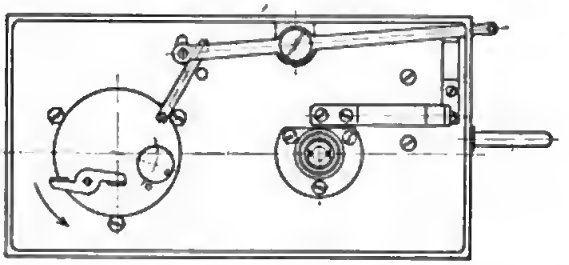


Abb. 111. Höhenschreiber (Goerz).

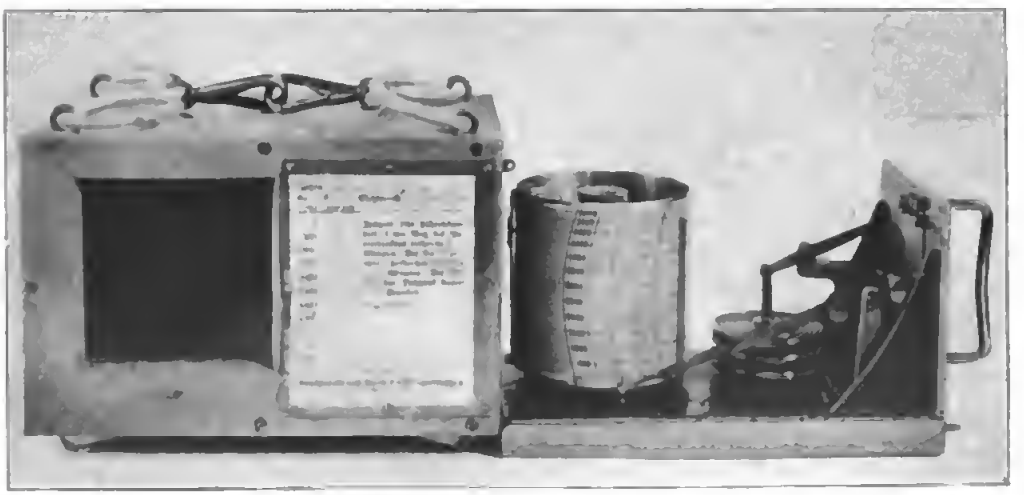


Abb. 112. Höhenschreiber (Goerz.)

Das Hebelwerk hat die Aufgabe, die Bewegung des Dosensatzes auf dem vorgeschriebenen Streifen abzubilden; dadurch sind den Abmessungen der Hebelelemente Bedingungen vorgeschrieben, deren Erfüllung bisweilen auf Schwierigkeiten stößt. Die Aufgabe ist von den einzelnen Firmen auf verschiedene Weise (Abb. 107—124) gelöst worden, wie die Abbildungen zeigen. Es ergab sich, daß man

Abb. 113. Höhenschreiberwerk (Goerz).

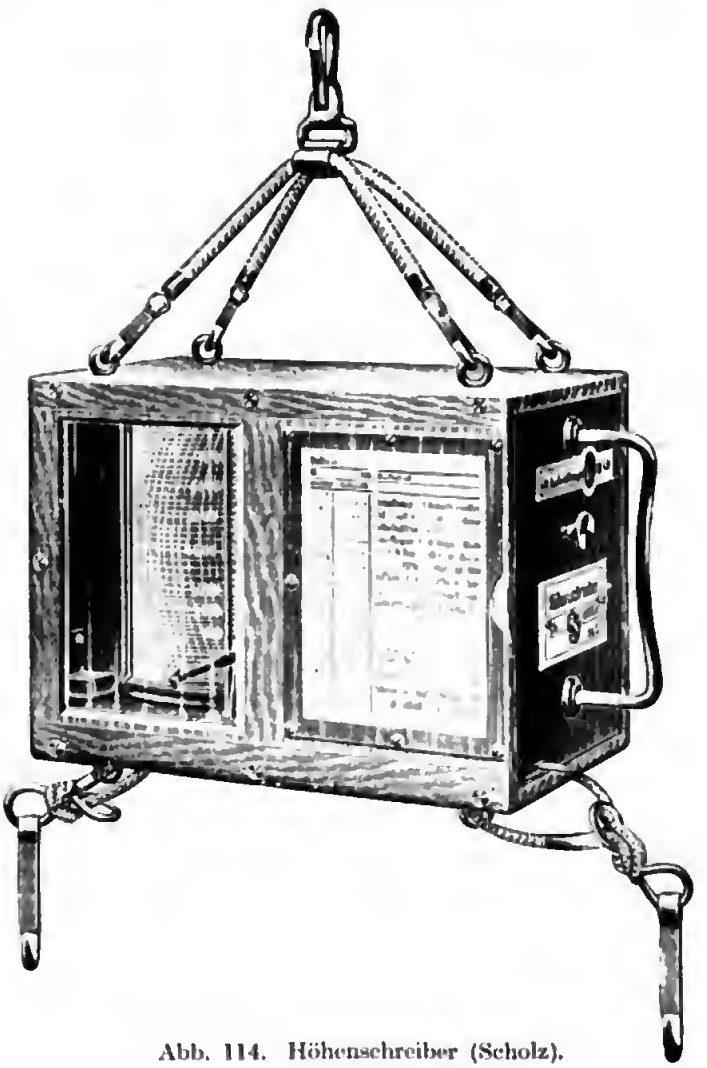


Abb. 114. Höhenschreiber (Scholz).

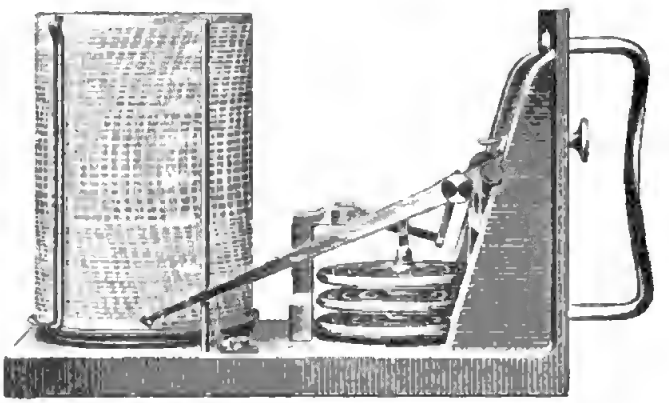


Abb. 115. Höhenschreiberwerk (Scholz).

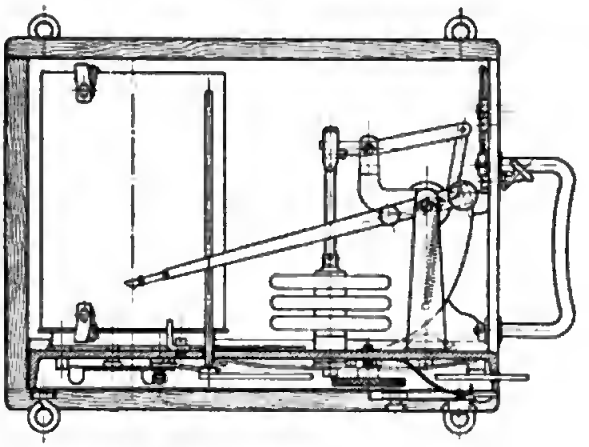


Abb. 116. Höhenschreiber (Ott).

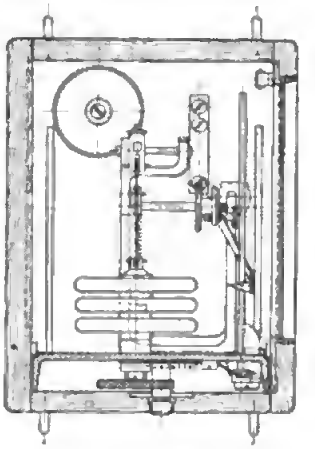


Abb. 118. Höhenschreiber (Ott).

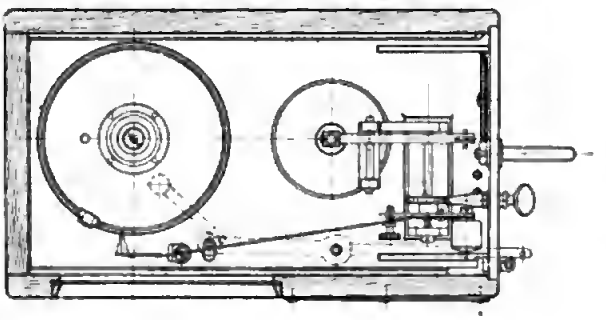


Abb. 117. Höhenschreiber (Ott).

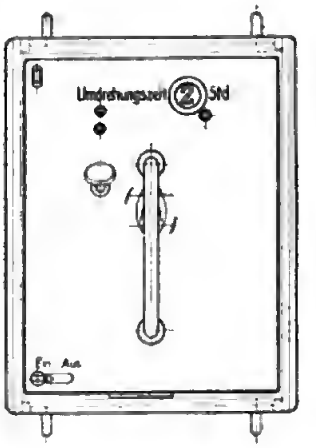


Abb. 119. Höhenschreiber (Ott).

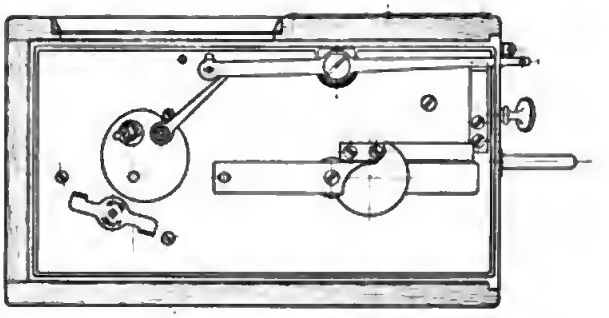


Abb. 120. Höhenschreiber (Ott).

Abb. 121. Höhenschreiberwerk (Fuess).

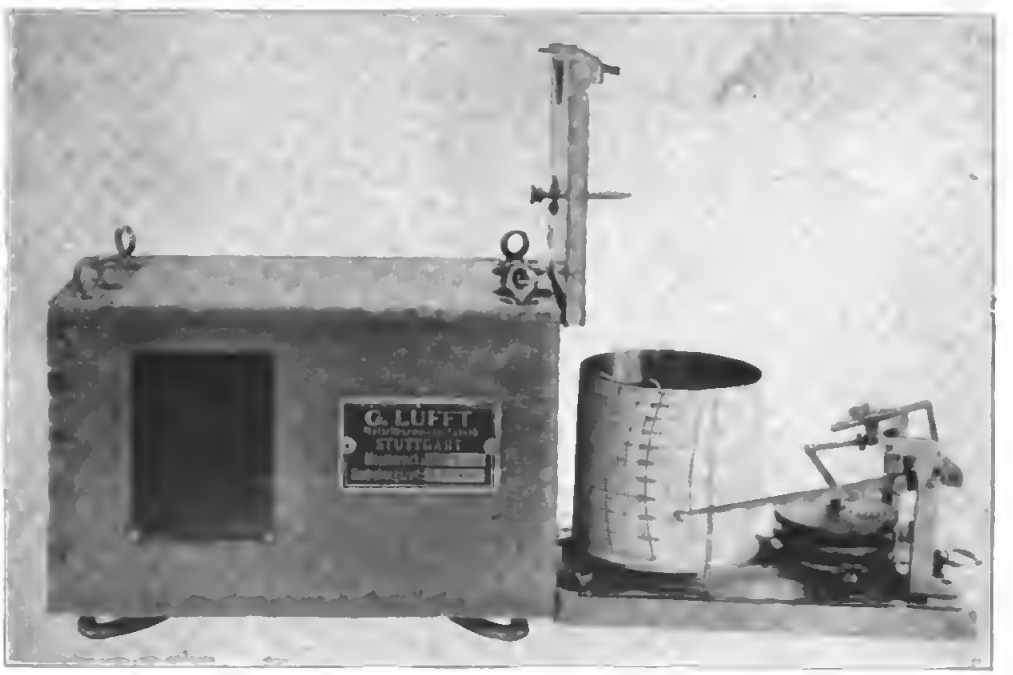


Abb. 122. Höhenschreiber (Lufft).

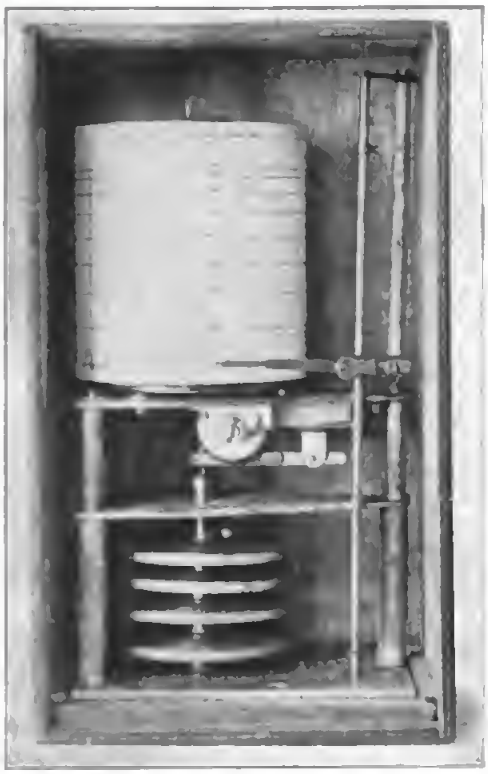


Abb. 123. Höhenschreiber (v. d. Borne)

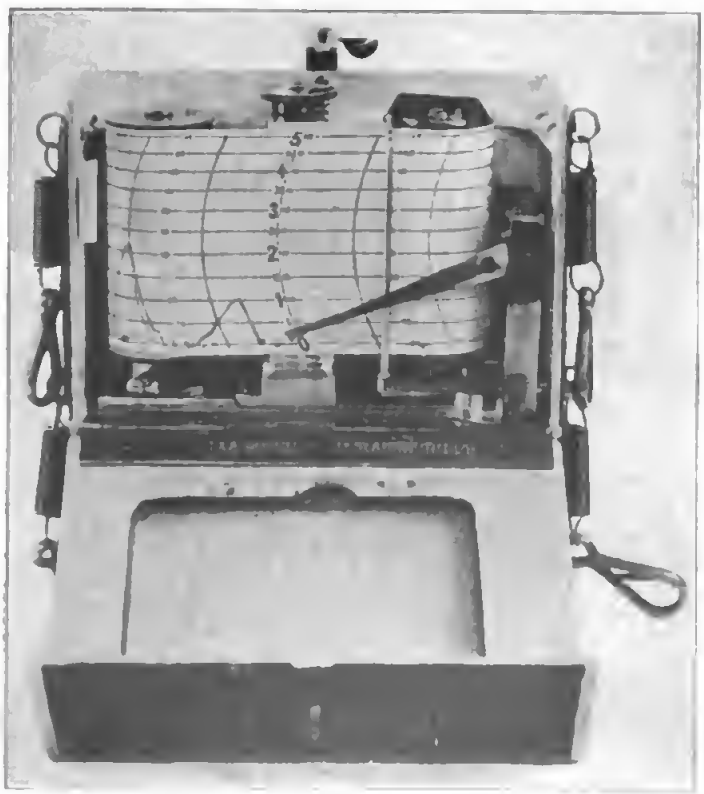


Abb. 124. Höhenschreiber (Bosch).

bereits mit einem Hebelarm (Firma Ott, Abb. 116) eine hervorragende Anpassung an das vorgeschriebene logarithmische Diagramm erzielen kann. Bei anderen Fabrikaten wurden mehrere solcher Hebel benötigt, ohne daß deshalb eine bessere Angleichung erreicht wurde. Das einfache Hebelwerk ist dem zusammengesetzten erfahrungsgemäß vorzuziehen.

In das Hebelwerk selbst eine Umschaltung hineinzuverlegen (Firma Ott), hat sich als möglich, aber im allgemeinen entbehrlich erwiesen. Immerhin erhöht sie die Zahl der Fehlerquellen. Dagegen ist eine Stellvorrichtung, etwa in Form einer gesicherten Regulierschraube notwendig, um die Kurvenform korrigieren zu können.

γ. Schreibvorrichtung.

Schreibhebel sowohl wie Schreibfeder wurden notwendigerweise normalisiert, um ein einheitliches Diagramm zu ermöglichen.

Vorgeschriebene Dimensionen:

Zeigerlänge, vom Drehpunkt bis zur Federspitze, 120 mm.

Zeigerlänge, vom Drehpunkt bis zum Anschlag, gegen den sich die Schreibfeder setzt, 105 mm.

Die Zeigerspitze zum Aufstecken der Feder und die Führungen an der Schreibfeder selbst sind nach den Abnahmelehren (Abb. 125) auszuführen.

Als Schreibfeder dient die gewöhnliche Barographenfeder, deren Führung obigen Lehren entspricht.

Die Justierung des Zeigers muß so erfolgen, daß die Feder auch bei vollem Ausschlag des Zeigers auf dem Papier nicht kratzt, sondern gleitet.

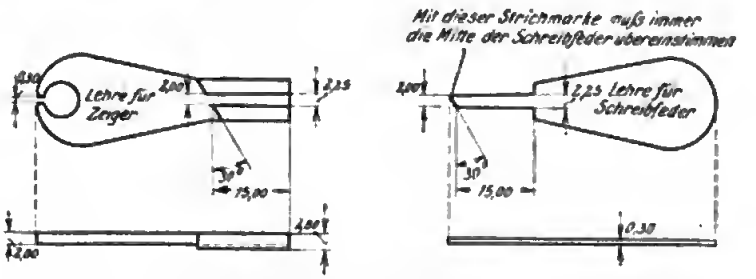


Abb. 125. Abnahmelehren für Zeiger und Schreibfeder.

Das Schreiben mit Tinte hat manche Nachteile: Dicke des Striches, Eintrocknen, Gefrieren, Verspritzen und Verbrauch der Tinte; aus diesem Grunde dürfte für Abnahmeschreiber das Rußverfahren vorzuziehen sein, das jedoch wiederum bei einem größeren Flugbetriebe lästige Erschwerungen wegen der Notwendigkeit des Fixierens zur Folge hat. Das bekannte Silberstiftschreibverfahren dürfte hier nicht am Platze sein, da es recht erhebliche Reibungswiderstände hervorruft. Wesentlich für die Güte der Tintenschrift ist die Kraft, mit der der Schreibstift gegen den Papierstreifen gedrückt wird. Die Vorschrift für normalisierte Schreibhebel lautet, daß bei einer Neigung des Schreibers um 45° (um Längsachse) die Feder sich gerade vom Papier heben soll. Erfahrungsgemäß wurden auf diese Weise die wenigsten Versager erzielt. Nun ist es aber ersichtlich, daß bei starker Schräglage des Flug-

zeugs ein Aussetzen eintreten muß. Insofern liegt in der ganzen Anordnung ein Mangel, der sich häufig genug bemerkbar gemacht hat. Dieser soll durch eine in Abb. 126 dargestellte Vorrichtung vermieden werden (E. Franz, Charlottenburg), die die Lageempfindlichkeit beseitigen und ein Abheben der Feder durch Stöße und Lage verhindern dürfte. Diese neue Form ist bisher noch nicht eingeführt, scheint aber empfehlenswert zu sein. Um beim Start ein Überspringen der Feder über den unteren Rand der Trommel zu verhindern, ohne gleichzeitig die nötige Bewegungsfreiheit des Schreibhebels (bei hohem Barometerstand) zu behindern, wurde neben der Trommel eine schräge Anschlagkulisse angeordnet, auf der der Hebel entlang gleitet, indem er sich vom Papier abhebt. (Es mag hier eingefügt sein, daß das Fehlen solcher kleinen, anscheinend belanglosen Teile manchen Ab-

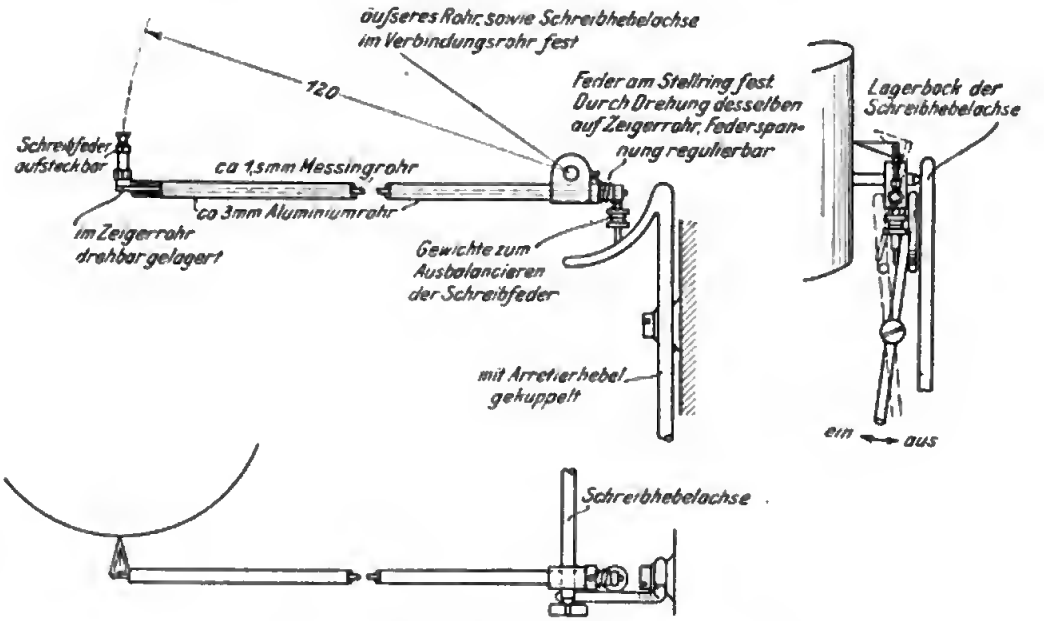


Abb. 126. Lageunempfindlicher Schreibhebel.

nahmeflug vereitelt hat!) Die Ausschaltung des Schreibhebels erfolgt meistens durch eine vertikale Schiene (z. B. Abb. 116, 121), die entweder gleichzeitig mit dem Uhrwerk (Goerz) oder getrennt von diesem betätigt wird und die Feder vom Papier abhebt.

δ. Tinte.

An eine geeignete Tinte sind allerlei Ansprüche zu stellen. Vor allem darf sie bis — 40° C weder gefrieren noch zu dickflüssig werden, andererseits muß sie so zäh sein, daß sie bei Schwingungen nicht ausspritzt. Ferner soll sie möglichst langsam verdunsten bzw. eintrocknen und auf dem Papier nicht auslaufen. Was die Farbe betrifft, so wurde bisher violett benutzt, neuerdings aber rot vorgezogen, da es bei pausbaren Streifen kopierfähiger ist. Die Fabrikate der Firma Tetzer, Berlin, erwiesen sich für diese Zwecke als geeignet.

ε. Höhenschreiberstreifen (Diagramme).

In Abb. 127 und 128 sind die Angaben über Normalstreifen für 5000 und 8000 m aufgenommen. Die Farbe der Linie ist mattbraun oder mattgrau. Das Papier muß unhygroskopisch, glatt und geleimt sein. Man benutzt entweder kartonstarkes oder pausfähiges Papier. Die Toleranz betrug 0,2 mm. Für die Zwecke von Steigleistungsmessungen wurden noch sog. Dekadenstreifen benutzt, über die in einem späteren Kapitel berichtet wird.

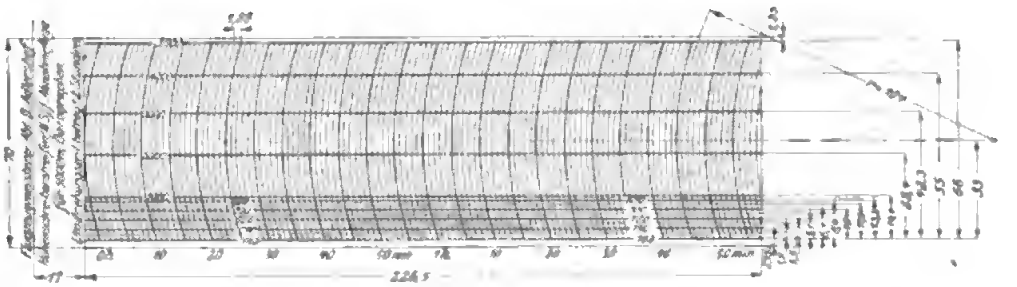


Abb. 127. Normaldiagrammstreifen für 5000 m Höhenschreiber.

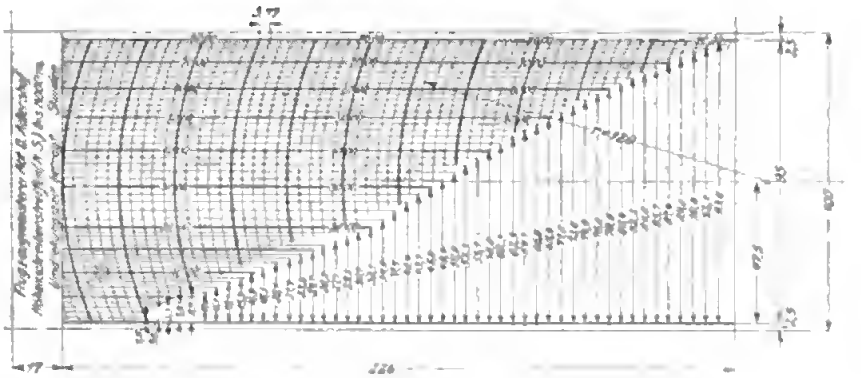


Abb. 128. Normaldiagrammstreifen für 8000 m Höhenschreiber.

ζ. Trommel.

Die zur Aufnahme der Streifen dienende Trommel ist in ihren Ausmaßen normalisiert (Abb. 129), so daß Auswechslung erfolgen kann. Sie soll möglichst leicht sein, um bei Stößen das Werk nicht zu stören und um gleichzeitig möglichst wenig von Drehmomenten des Flugzeugs beeinflußt zu werden (Aluminium, Messing). Ihre Befestigung durch Kordelschraube muß absolut zuverlässig sein. Mitnehmerstifte, für die eine Lehre (Abb. 130) maßgebend war, sorgen für spielraumfreien Gang. Um jedoch eine Zeiteinstellung vornehmen zu können, ist der Trommelfuß auf der Achse schwergängig drehbar angeordnet (platte Feder). Ein zu leichter Gang dieses Teiles hat unfehlbar ein Wandern der Trommel im Flage zur Folge. Die Vorschrift sagt darüber, daß die Reibung der Federscheibe am Trommelträger so stark sein muß, daß zu ihrer Überwindung mindestens 250 g, höchstens 400 g,

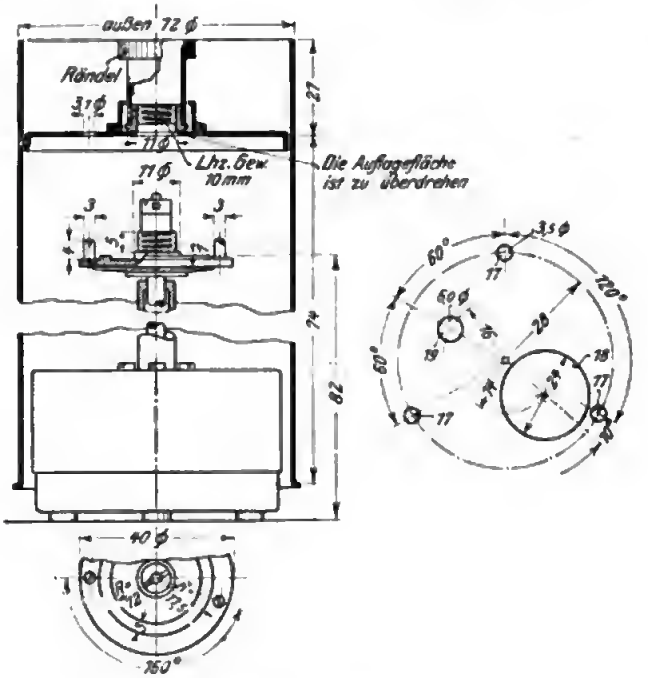


Abb. 129. Normalien der Höhenschreibertrommel.

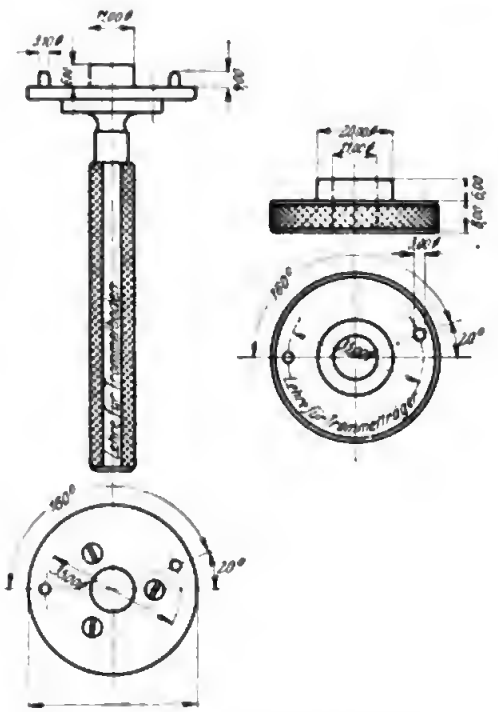


Abb. 130. Normallehre für Trommel.

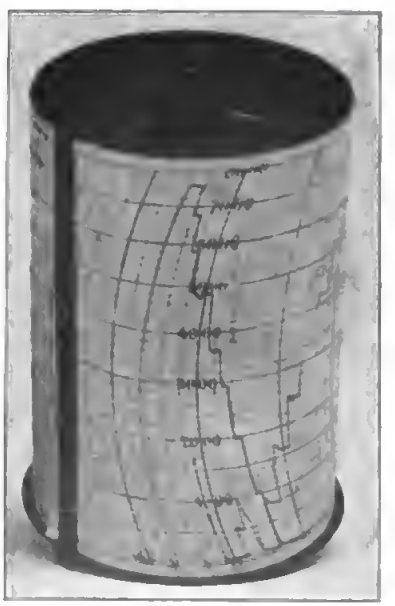


Abb. 131.
Trommel mit federndem Streifen.

gemessen am Trommelumfang, nötig sind. Über diese Messung siehe weiter unten. Auch dieser Teil des Werkes scheint noch verbesserungsbedürftig zu sein.

Zur Befestigung des Diagramms dienen verschiedene Mittel. Am gebräuchlichsten ist ein mit Scharnier versehener Metallstreifen, der herunterklappbar ist, weniger gut sind federnde Streifen zum Einschieben (z. B. Abb. 131), die leicht verloren gehen. Alle solche Streifen müssen möglichst flach und an den Kanten abgeschrägt sein, um dem Schreibstift das Herübergleiten zu gestatten. Es wurde versucht, das damit verbundene Aussetzen der Kurve durch eine andere Vorrichtung (Abb. 116) zu vermeiden, die mit Hilfe zweier kurzer Scharniere den Streifen nur an seinen äußersten Enden einklemmt. Diese Form ist jedoch nicht zuverlässig. Ein Einspannen des Diagramms in einen Schlitz der Trommel wurde bisher technisch noch nicht gelöst. Die Firma Goerz hat an dem Befestigungsstreifen eine Perforiervorrichtung angebracht, die gleichzeitig die Klemmwirkung erhöht und die Umdrehungszeit markiert. Die Firma Bosch, Straßburg (Abb. 124), deren Fabrikat nicht unter die normalisierten fällt, benutzt zwei kleine Trommeln, um die der Streifen herumläuft. Vorteile sind: kleines Format und somit Raumersparnis, sowie größere Streifenlänge; Nachteile: Die Streifen müssen geklebt werden. Für Friedensverhältnisse verdient diese Form Beachtung.

η. Uhrwerk.

Man verlegte früher die Uhrwerke fest in die Trommel, machte dabei jedoch die Erfahrung, daß durch das so erhöhte Trägheitsmoment die Trommel Drehungen ausgesetzt ist, so daß man heute ganz von dieser Anordnung abgekommen ist. Das Uhrwerk wird fest auf der Grundplatte montiert und betätigt eine vertikale Achse, auf der die Trommel in angegebener Weise befestigt ist. Gebräuchlich sind Werke mit 2, 4 oder 6 Stunden Umlaufzeit, nebenher auch solche, die eine Umschaltung gestatten (Abb. 132). Grundsätzlich sind solche ohne Umschaltung zuverlässiger, umschaltbare dagegen für manche Zwecke geeigneter. Im übrigen wird sich die Umlaufzeit wesentlich nach der Gebrauchszeit richten. Man kann natürlich auch mehrere Umläufe bei einem Fluge verwenden, wenn es sich nur um eine Notierung, nicht um eine genauere Messung handelt.

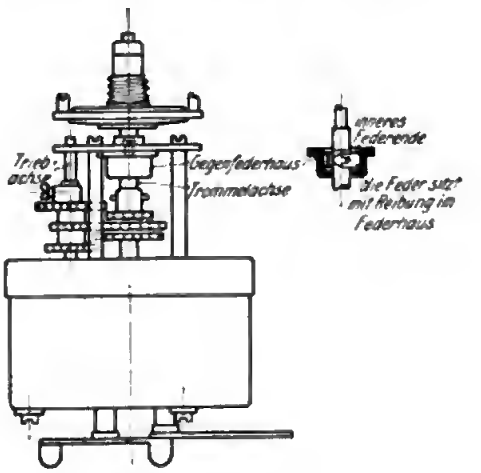


Abb. 132.
Umschaltbares 2-4-6-Stundenuhrwerk.

Als erste Bedingung wird absolute Freiheit von Zahnluft gefordert; bei einfachen Werken ist das leicht zu erfüllen, indem die Trommelachse unter Spannung gehalten wird. Bei auswechselbaren Werken bieten sich dabei Schwierigkeiten. Es ist wohl möglich, ein Wechselwerk derart zu konstruieren, daß die Hauptachse dauernd gespannt ist, nur tritt dann bei der Auswechslung leicht der Fall ein, daß

das Werk sich selbst entspannt. Auf diesem Gebiete wurden viele Versuche gemacht und erhebliche Fortschritte gezeitigt. Es würde zu weit führen, auf den rein uhrentechnischen Teil des Näheren einzugehen. Im allgemeinen genügen sog. Weckerwerke, die innerhalb der wenigen Stunden ihres Gebrauchs noch kaum wesentliche Zeitfehler aufweisen. An Echappements wurden anfangs nur solche feinster Präzisionsarbeit verwendet; es zeigte sich jedoch, daß auch einfachere ihre verhältnismäßig grobe Arbeit zur Genüge ausführen. Von den mancherlei Firmen, die sich mit Erfolg an der Verbesserung dieser Teile betätigt haben, seien die Firmen Bäuerle und Schlenker & Kienzle genannt, die Werke herausbrachten, die allen Bedingungen genügten. Um auch ältere Fabrikate, deren Achsen nicht unter Spannung stehen, benutzen zu können, wurden Versuche mit Zusatz-Schleiffedern unternommen. Die Firma Bäuerle baute auf Veranlassung der Firma Ott eine solche Vorrichtung (Abb. 132); sie besteht aus einer in einer kleinen Kapsel untergebrachten Feder, die auf der Achse festsitzt und in der mit dem Gehäuse verbundenen Kapsel pressend gleitet. Dadurch wird ein Zurückfedern der Trommel wenigstens in gewissen Grenzen vermieden. Andererseits schwächen natürlich solche Behelfsmittel die eigentliche Federkraft des Werkes, so daß sie sich nicht sehr empfehlen.

Gerade die auf dem Trommelumfang entwickelte Zugkraft des Werkes ist von wesentlichem Einfluß auf die Brauchbarkeit des Fabrikates. Diese Kraft läßt sich am einfachsten dadurch messen, daß man durch sie mit Hilfe eines um die Trommel geschlungenen Fadens ein Gewicht heben läßt. Als zulässiges Minimalgewicht, das ein Uhrwerk gerade noch in seinem Gange hindert, wurde erfahrungsgemäß 75 g angesetzt. Handelt es sich um Werke mit Übersetzung, so ist diese Zugkraft abhängig vom Übersetzungsverhältnis, wenigstens bei den meisten Ausführungen. Dadurch wird andererseits die Zeitangabe ungünstig beeinflußt und eine Regulierung erschwert oder unmöglich. Die Lösung dieser weiteren Aufgabe bei Wechselwerken scheint nicht einfach zu sein. In der Praxis hat sich denn auch der gewöhnliche 4- oder 6-Stundenschreiber ohne kunstvolle Wechselvorrichtung am besten bewährt. An dieser Stelle mag noch besonders darauf hingewiesen werden, daß die Verwendung nicht gefrierenden Öles von ausschlaggebender Bedeutung ist.

9. Arretierung.

Die Arretierung hat sowohl das Uhrwerk zu bremsen wie die Schreibfeder vom Streifen abzuheben. Eine Vereinigung beider wurde zuerst von der Firma Goerz ausgeführt (s. Abb. 111 und 117). Die Bedienung erfolgt bei geschlossenem Kasten von der Schlußwand aus (Abb. 119), unzweckmäßiger auf der Gegenseite durch eine besondere Durchbrechung des Gehäuses. Der Mechanismus soll so leicht spielen, daß kein ruckweises Ausschalten erfolgt. Für den Transport ist es vorteilhaft, wenn, wie bei Abb. 133, die Hebelarretierung zwischen zwei Führungsschienen erfolgt, wodurch das Hebelwerk und die Dose vor unnötigen Bewegungen geschützt werden. Auf eine für Kontrollzwecke wichtige Plombierungseinrichtung wird ebenfalls hingewiesen.

Da die Einstellung des Werkes meistens erst vor Beginn des Fluges erfolgt, wird sie häufig vergessen. Es wurde deshalb ein Verfahren (Oppermann) erprobt,

Digitized by Google

das sie selbständig ausführt (Abb. 134). Dieses läßt sich jedoch nur bei Höhenschreibern anwenden, die frei, etwa zwischen den Streben aufgehängt sind, da es den Staudruck benutzt; durch letzteren wird beim Start ein am Schutzkasten montiertes Windrad (Schalenkreuz) so lange in Umdrehung versetzt, bis es mittels einer Spindel die Arretierung gelöst hat; alsdann kommt es zur Ruhe. Bei der Landung führt eine schwache Gegenfeder das Windrad wieder in seine ursprüngliche Lage, wodurch Arretierung erfolgt. Versuche ergaben die Brauchbarkeit, doch hat sich die Methode bisher noch nicht eingebürgert.

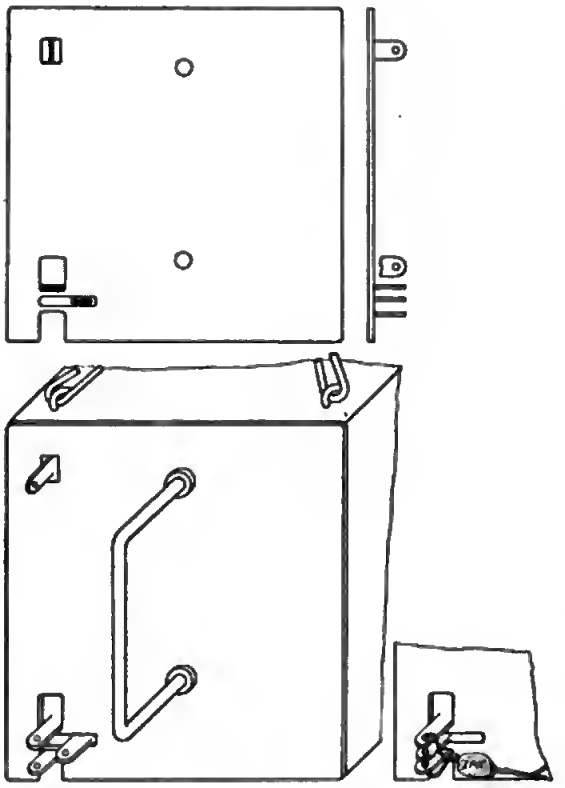


Abb. 133. Sicherung und Plombierung.

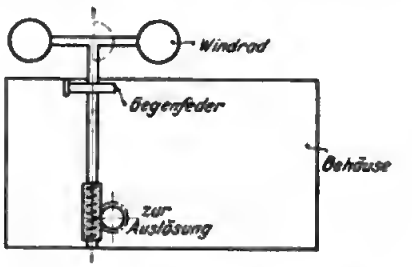


Abb. 134. Selbsttätige Schaltung für Höhenschreiber.

t. Nullpunktsregulierung.

Die Regulierung zum Ausgleich der Wetterlage erfolgt bei geöffnetem Apparat. Gebräuchlich sind folgende drei Methoden:

1. Im Dosensatz; eine Kordelschraube hebt ein kräftiges Federblatt, auf dem der Dosenfuß aufsitzt (z. B. Abb. 116).
2. Im Schreibhebel; eine Stellschraube in letzterem reguliert seine Stellung auf der Hebelachse.
3. Am Werk; hier ist das ganze Werk einschließlich Dosensatz und Hebel für sich auf einem Rahmen gelagert, der sich gegenüber der Trommel verstellen läßt.

Das letzte Verfahren ist insofern am günstigsten, als jeder Eingriff in das Barometerwerk vermieden ist. Vom grundsätzlichen Standpunkt aus ist jedoch das erste zu bevorzugen, z. B. für die Eichung selber, da hierbei die Anzeige unabhängig vom Anfangsdruck am Boden wird. Überhaupt ist bei der Konstruktion der Regulierung die logarithmische Teilung zu berücksichtigen, insofern einfache Parallelverschiebungen zu falscher Anzeige Anlaß geben.

κ. Markiervorrichtung.

Um den Höhenschreiber gleichzeitig als Chronograph benutzen zu können, z. B. zur Fixierung bestimmter Zeitpunkte (die im Fluge häufig eine Rolle spielt), ist auf der Schlußwand ein Druckknopf vorgesehen (Abb. 109), der bei Betätigung in ein auf der Schreibhebelwelle sitzendes Zahnrädchen eingreift und dadurch auf der Diagrammkurve vertikale Striche erzeugt. Dieser Eingriff darf jedoch nur sanft erfolgen, um Verbiegungen zu vermeiden.

λ. Äußere Form (Gehäuse).

Abb. 135 gibt die Außenansicht des normalisierten Höhenschreibers wieder. Im allgemeinen bestehen die Gehäuse aus Holz, bisweilen aus Aluminium. Ihre viereckige Form ist ein Überbleibsel aus früherer Zeit her, wenigstens wird man solche Schreiber, die für die Aufhängung zwischen den Streben bestimmt sind, besser in Stromlinienform ausführen, da sie sonst einen nicht unbeträchtlichen

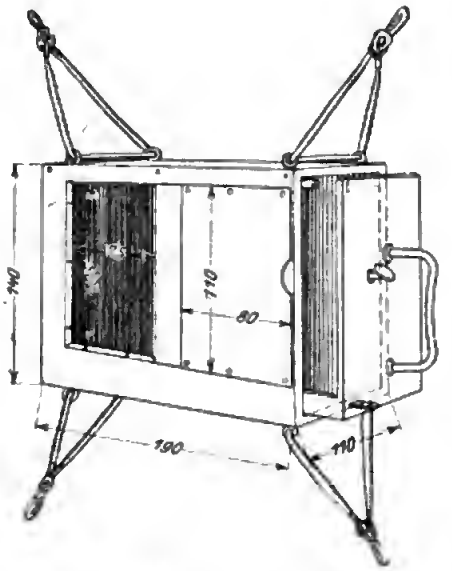


Abb. 135. Gehäuse des Höhenschreibers.

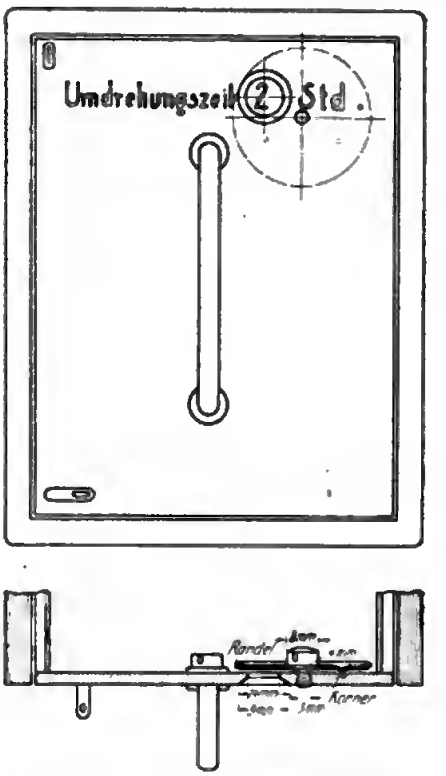


Abb. 136. Umdrehungszeitanzeiger.

Luftwiderstand bilden. Einschaltung und Markiervorrichtung sind auf der Schlußwand vereinigt. Ihre Verteilung hat sich in der skizzierten Form bewährt. Zudem trägt die Wand noch eine Schiebervorrichtung (Abb. 136), die bei auswechselbarem Uhrwerk die jeweils eingeschaltete Umdrehungszeit angibt, eine kleine Verbesserung, die aus dem Bedürfnis bei Prüfungsflügen entstanden ist.

μ. Einbau.

Die Aufhängung erfolgt durch kräftige Federn (Abb. 137—140), die ein Ausschwingen unbedingt verhindern müssen. Der Schreiber soll in Fluglage mög-

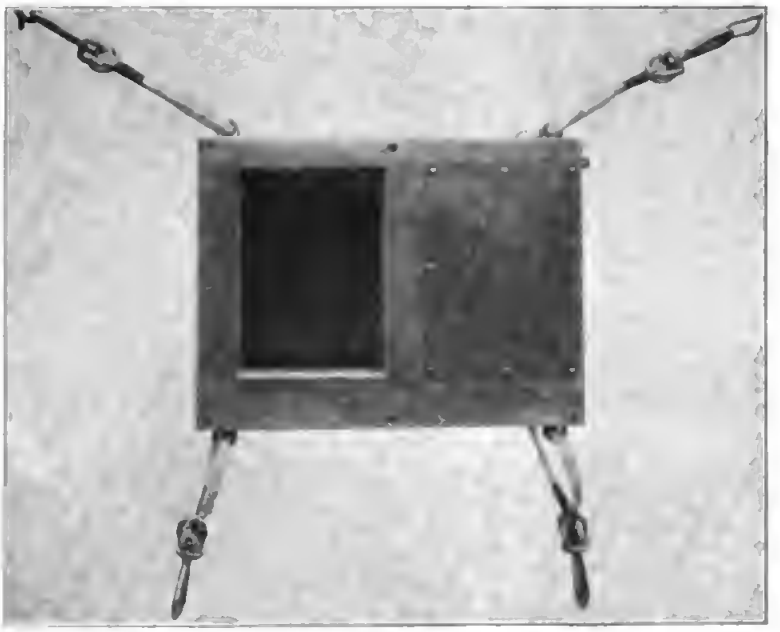


Abb. 137. Aufhängung mittels Federn.

Abb. 138. Aufhängung an den Streben.

lichst horizontal liegen, was bei Flugzeugen mit schrägen Streben bisweilen nicht einfach zu lösen ist. Eine Einheitsaufhängung, die eine möglichst ruhige Lage gewährleistet und gleichzeitig für alle Flugzeugsysteme brauchbar ist, ist versucht worden in dem in Abb. 141 skizzierten Modell, das nach Angabe des Herrn Opper-

Abb. 139
Aufhängung im Spannturm.

Abb. 140.
Abfederung bei stehenden Höhenschreibern

Digitized by Google

mann durch Firma Goerz ausgeführt wurde. Die Versuche zeigten die günstige Wirkungsweise, jedoch sollte auch mit einfacheren Mitteln Gleiches erreicht werden können.

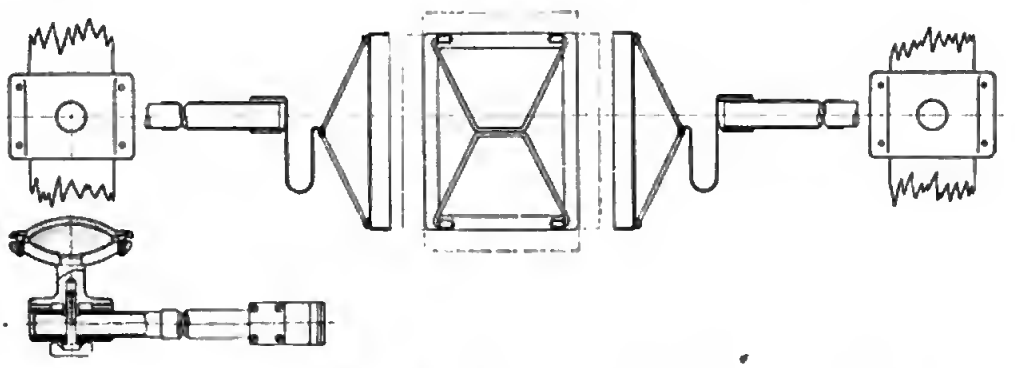


Abb. 141. Befestigungsvorrichtung für Höhenschreiber nach Oppermann (Goerz).

e) Vorschläge für einen Präzisionshöhenschreiber.

Hier seien die aus der Erfahrung gewonnenen Gesichtspunkte für die Konstruktion eines Präzisionshöhenschreibers kurz zusammengestellt:

Dosensatz aus möglichst wenig Dosen bestehend.

Die einzelne Dose mit möglichst großem Durchmesser und aus starkem Blech, fehlerlos handgedrückt.

Temperaturkorrektion durch Stickstoffüllung und evtl. Bimetallstreifen, entweder im Hebelwerk oder besser am Zeiger.

Hebelwerk mit durchweg zweifach gelagerten Achsen, Achsenlänge möglichst groß.

Sämtliche Teile auf einem Gußstück gelagert.

Hebelwerk unter Gegenspannung an der Zeigerachse.

Schreibhebel nicht im ganzen federnd, sondern starr; zur Abfederung nahe an der Achse unterbrochen und durch Spiralzugfeder verbunden.

Tintenschrift fällt fort, dafür Rußverfahren.

Trommel gegenüber normalisierter um ca. 10 mm nach unten verlängert (um Spielraum bei hohen Tagesdrucken zu gewinnen).

Präzisionsuhrwerk (zwei Stunden ohne Auswechselung).

Gleichzeitiger Einbau eines Thermographen nach dem Bimetallverfahren, dessen Angabe auf derselben Trommel oberhalb des Höhendiagramms erfolgt.

Markiervorrichtung fällt fort.

Plombiervorrichtung notwendig (evtl. Schloß).

Regulierschraube innerhalb des Gehäuses, am Dosenfuß angreifend.

Ein- und Ausschaltung von außen durch herausnehmbaren Schlüssel.

Sichtscheiben an drei Seiten des Gehäuses.

Aufhängung an den acht Ecken im besonderen Gestell (s. Abb. 140).

Sollte elastische Nachwirkung trotz bester Dosen noch vorhanden sein, käme das auf S. 91 beschriebene Kompensationsverfahren in Anwendung.

f) Die Steigleistungsmessung.

α. Druck-Temperaturmessung.

Um die bei Prüfungsflügen wichtige Höhenleistung eines Flugzeuges zu ermitteln, ist es grundsätzlich richtiger, nicht Messungen des Druckes, wie sie im Höhenmesser geschehen, sondern solche der Luftdichte zugrunde zu legen. Es ist hier nicht der Ort, auf eine theoretische Begründung einzugehen; wir beschränken uns auf die rein praktische Seite der Bestimmung der Dichte. Aus der Gasgleichung folgt die Beziehung:

$$\Delta = \text{Const}\,\frac{p}{T} \quad (\Delta = \text{Dichte},\ p = \text{Druck},\ T = \text{abs. Temperatur}).$$

Daraus ergibt sich, daß man Δ aus einer gleichzeitigen Messung von Druck und Temperatur ermitteln kann. Man hätte also die Kurve eines Druckschreibers mit der eines Temperaturschreibers zeitlich zu verbinden. Es liegt nahe, diese beiden Instrumente zu vereinigen, entweder indirekt, indem man die beiden Kurven auf dem gleichen Streifen getrennt aufnimmt und die Dichtekurve daraus rechnerisch ermittelt; oder direkt, indem man die Funktion beider mechanisch zum Quotienten verbindet. Erstere Methode ist hier und da ausgeführt worden. Eine Vereinigung von Baro- und Thermographen ist nichts Neues; eine Spezialkonstruktion für genannten Zweck wurde jedoch bisher nicht in Angriff genommen. Eine Verschmelzung beider im Sinne der zweiten Methode ist wohl denkbar, dürfte aber zu einem recht empfindlichen Mechanismus führen, der mit zahlreichen Fehlerquellen behaftet ist.

Nun ist es aber auch möglich, die Dichte direkt zu messen; es sollen dafür in folgendem zwei Methoden angegeben werden, die zwar das Versuchsstadium noch kaum überwunden haben, jedoch recht aussichtsreich erscheinen.

β. Dichtemessung nach Dr. Blasius.

Eine kreisförmig gebogene Glasröhre (Abb. 142; evtl. Spirale) ist an einem Ende offen, am anderen geschlossen; als Luftabschluß enthält sie eine Quecksilberfüllung. Sie ist um ihre Achse frei drehbar und stellt sich infolgedessen immer so ein, daß die Menisken in beiden Schenkeln gleich hoch stehen. Die vom Quecksilber abgeschlossene Luft steht im thermischen Gleichgewicht mit der Außentemperatur. Eine Temperaturerhöhung bewirkt also eine Drehung der Spirale im Uhrzeigersinne, eine Druckverminderung außen ebenfalls. Das eingeschlossene Volumen v ist proportional dem Ausdruck $\frac{T}{p}$, also auch der reziproken Dichte.

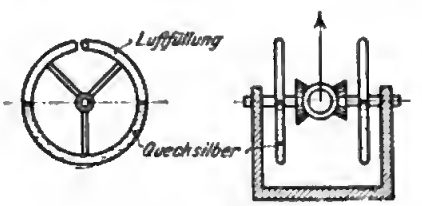


Abb. 142 und 143.
Dichtemessung nach Dr. Blasius.

Letztere läßt sich somit aus der erfolgten Drehung ablesen. Hierbei ist jedoch vorausgesetzt, daß die die Skala tragende Grundplatte keinen Neigungen unterworfen ist, was im Flugzeug nicht zutrifft. Man kann den Fehler auf verschiedene Weise beheben. Entweder liest man etwa den linken Meniskus auf einer Teilung

am Glasrohr selber ab. Dieses Verfahren ist sehr einfach, ermöglicht aber kaum eine schriftliche Fixierung der Anzeige, wie sie gewünscht wird. Oder man versieht die Spiralachse mit einem Zeiger, der über einer pendelnd aufgehängten Skala spielt; oder endlich man vereinigt zwei solcher gegenläufigen Systeme (Abb. 143) mittels einer Art Differential. Dadurch fallen alle Neigungsfehler heraus und die der Dichte entsprechende Anzeige läßt sich sogar in bekannter Weise graphisch festlegen. Diese letztere Form wurde durch Herrn Dr. Blasius ausgeführt und entsprach bei den ersten Versuchen durchaus der Erwartung. Messungen im Flugzeug selber lagen jedoch noch nicht vor. Ein kleiner Mangel ist die Nichtlinearität der Skala, ein größerer dürfte jedoch der sein, daß das Gerät, das wesentlich ein Flüssigkeitspendel darstellt, von den unkontrollierbaren Beschleunigungen des Fluges stark beeinflußt wird.

γ. Dichtemessung durch Taucher.

In der Hydromechanik ist eine Versuchsanordnung bekannt, die man als „kartesischen Taucher" bezeichnet. Diese läßt sich nach einem Vorschlag des Verfassers zu einer Art Dichtemessung verwenden. Sieht man von einer Registrierung der ganzen Dichtekurve ab, so genügt es, für eine Steigleistungsmessung die Zeit zu ermitteln, die ein Flugzeug benötigt, um von einem Ort der Dichte Δ_1 zu einem solchen der Dichte Δ_2 zu steigen. Diese beiden Zeitpunkte lassen sich aber mit großer Genauigkeit auf folgende Weise bestimmen (Abb. 144). In einem oben offenen Rohr *a* befindet sich ein kartesischer Schwimmkörper *b* mit einer Öffnung am unteren Ende. Das Rohr *a* ist mit einer Flüssigkeit (Isolator) gefüllt, von der ein Teil entsprechend dem außen herrschenden Druck und der Temperatur in den Schwimmer *b* eindringt. Im Normalzustande liegt letzterer am Boden. Ein an ihm befindlicher Metallbügel *c* verbindet die beiden Quecksilberkontakte *d*, so daß der Stromkreis eines Chronographen geschlossen ist. Der ganze Apparat wird der strömenden Luft ausgesetzt, damit Temperaturgleichgewicht besteht. Nimmt beim Steigen des Flugzeuges die Luftdichte ab, so wird bei einer ganz bestimmten Größe derselben der Schwimmer zu steigen beginnen: in diesem Moment öffnet sich der Stromkreis und die entsprechende Zeit markiert sich auf dem Chronographen. Benutzt man nun zwei solcher Gefäße mit geeignet abgewogenen Schwimmern, so erhält man auf diese Weise zwei Zeitmarken, die zwei verschiedenen, aber bekannten Dichten entsprechen. In der Praxis würde man etwa die 1000 m und 5000 m Höhe entsprechenden Normaldichten wählen. Natürlich kann man mehrere solcher Relais verwenden, wenn man auch die Zwischenstufen zu messen beabsichtigt. Wie Laboratoriumsversuche zeigten, ist der Beginn des Steigens gut reproduzierbar, so daß derartige Messungen recht genau ausfallen dürften. Die natürliche Erschütterung des Flugzeuges verhindert ein Hängenbleiben des Schwimmers. Im übrigen ist das Gerät von Beschleunigungen absolut unabhängig, da im Moment des Aufstiegs der Schwimmer gewichtslos ist.

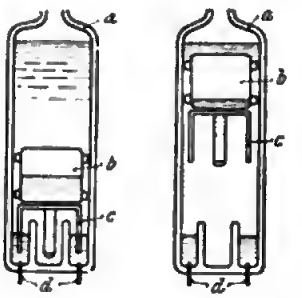


Abb. 144. Dichtemessung durch Taucher.

δ. Die gebräuchliche Form der Steigleistungsmessung (Dekaden).

Die den Normalschreibern zugrunde gelegte Höhenformel genügt höheren Ansprüchen auf Genauigkeit nicht; ihr wesentlichster Nachteil liegt darin, daß sie für die Temperaturkorrektion nur grobe Mittelwerte benutzt, die für exaktere Steigleistungsmessung zu ungenau werden. Man kann zwar die Angaben nachträglich korrigieren, einfacher jedoch ist ein Verfahren, das man bisher fast ausschließlich benutzte. Man betrachtet nämlich die Temperaturverteilung der Atmosphäre als an die Jahreszeit gebunden und verwendet besondere Dekadenstreifen. Diese enthalten den einzelnen Dekaden besser angepaßte Mittelwerte der Bodentemperatur und des Temperaturgradienten, und zwar benutzt man mit Vorteil für genannten Zweck 5000 m Geräte, die, wie oben erwähnt, weniger unter der Nachwirkung leiden. Die sich ergebenden Teilungen sind in Abb. 145 dargestellt. Auf die Einzelheiten der späteren Auswertung kann hier nicht eingegangen werden.

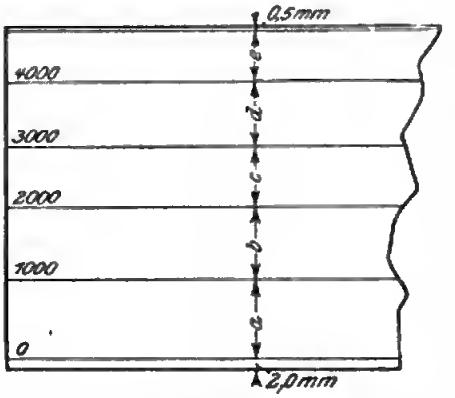


Abb. 145. Dekadenstreifen (Schema; die Größen a bis e in Millimetern siehe aus folgender Tabelle).

Tabelle der Dekadenstreifen.

Blatt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gültig von — bis (Datum)	1./1. bis 31./1.	1./2. bis 20./3.	21./3. bis 31./3.	1./4. bis 10./4.	11./4. bis 20./4.	21./4. bis 30./4.	1./5. bis 10./5.	11./5. bis 29./5.	21./5. bis 31./5.
a	17,7	17,1	16,6	16,2	15,8	14,8	14,1	13,0	12,5
b	14,0	14,3	14,7	14,8	14,9	14,6	1,47	15,1	15,0
c	1,40	14,2	14,2	14,1	14,1	14,1	14,2	15,2	14,2
d	12,5	12,5	12,5	12,5	12,6	12,8	12,6	11,7	12,9
e	8,8	8,9	9,0	9,3	9,6	10,7	11,4	12,0	12,4

Blatt	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Gültig von — bis (Datum)	1./6. bis 10./6.	11./6. bis 30./6.	1./7. bis 20./8.	21./8. bis 30./9.	1./10. bis 10./10.	11./10. bis 20./10.	1./11. bis 10./11.	11./11. bis 10./12.	11./12. bis 31./12.
a	12,0	11,4	11,0	13,0	13,4	13,8	15,7	16,7	17,2
b	15,1	15,3	15,3	14,6	14,5	14,4	14,3	14,2	14,0
c	14,3	14,3	14,4	14,1	14,1	13,5	14,0	14,1	14,1
d	12,9	13,0	12,9	13,0	13,0	13,5	12,8	12,6	12,6
e	12,7	13,0	13,4	12,3	12,0	11,8	10,2	9,4	9,1

g) Eichverfahren für barometrischen Höhenmesser und -schreiber.

Das gewöhnliche Eichverfahren im Rezipienten ist zu bekannt, als daß es einer Erläuterung bedürfte. Es sind jedoch einige Punkte zu beachten, die für Flug-

zeuggeräte von Bedeutung sind. Einmal ist die Erschütterung zu berücksichtigen, der das Gerät im Fluge ausgesetzt ist; infolgedessen ist auch bei der Eichung ein ähnlicher Zustand herzustellen. Gemeinhin erfolgt es in einfachster Weise von Hand, indem der Rezipient jedesmal vor der Ablesung kräftig angestoßen wird; eine viel sachlichere Art ist natürlich die Verwendung einer geeigneten Schüttelvorrichtung, wie sie auch für andere Zwecke benutzt wird. Es besteht keine Schwierigkeit, durch eine solche den ganzen Rezipienten in Bewegung zu setzen, wenn man sie außerhalb anordnet. Freilich benötigt man Elektromotoren von etwa $^1/_2$—1 PS. Verlegt man jedoch die Schüttelvorrichtung ins Vakuum, so bereitet die Funkenbildung im Kollektor leicht Störung; man greift deshalb am besten zu Drehstrommotoren, die in diesem Falle viel schwächer gewählt werden können. Die Schüttelbewegung erzielt man am besten durch Nockenstöße, weniger heftig, aber gleichmäßiger durch exzentrische Gewichtsverteilung rotierender Massen.

In zweiter Linie ist die Temperatur bei der Eichung zu beachten. Soweit die Lufttemperatur beim Fluge in Betracht kommt, ist sie bereits in der Höhenformel enthalten; sie ist also nicht zu berücksichtigen. Wohl aber kann das Hebelwerk einen Temperaturkoeffizienten aufweisen, der nicht genügend oder gar nicht kompensiert ist. Das einzige einwandfreie Mittel wäre natürlich eine der mittleren Temperatur der jeweilig eingestellten Druckhöhe des Rezipienten entsprechende Abkühlung des Prüflings. Dieses Verfahren setzt den Besitz eines Thermorezipienten voraus. Ein solcher wurde von der Firma Fueß gebaut und ist in Abb. 146 skizziert. Leider sind seine Eigenschaften nicht derartige, daß er für regelmäßige Eichzwecke verwendet werden könnte. Ganz abgesehen davon, daß erhebliche Mengen flüssiger Luft benötigt werden und daß die Abdichtung bei niedrigen Temperaturen infolge Gefrierens des Dichtungsmittels leidet, erfolgt seine Temperatureinstellung so langsam, daß ein serienweises Eichen damit ausgeschlossen ist. Noch bedenklicher ist der Fehler, daß es so gut wie ausgeschlossen ist, mit Hilfe dieses Rezipienten eine konstante Temperatur längere Zeit zu halten. Die Kühlung von außen dürfte überhaupt nicht zu dem gewünschten Ziele führen. Dasjenige Verfahren, das am meisten Aussicht für brauchbare Kälteprüfung bietet, besteht in folgendem:

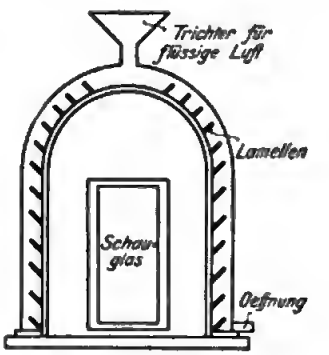


Abb. 146.
Thermorezipient (Fueß).

Ein geräumiges Gefäß, das mit flüssiger Luft (Kühlschlangen) gekühlt wird, enthält eine ausreichende Menge einer schwer gefrierenden Flüssigkeit (Alkohol, Äther od. dgl.). Nachdem es durch äußere Regulierung der Zufuhr von flüssiger Luft auf eine tiefe Temperatur gebracht ist, läßt man es mit Hilfe einer Art Benzinpumpe oder durch Thermosyphonwirkung durch eine im Vakuum aufgestellte Kühlschlange steigen. Man kann auf diese Weise in verhältnismäßig kurzer Zeit eine einigermaßen konstante Temperatur im Rezipienten herstellen. Für Masseneichungen empfiehlt sich auch dieses Verfahren kaum.

Neuerdings ist die Frage aufgetaucht, wie sich der Temperaturwechsel selber

bei Höhenmessern, Thermographen und Höhenschreibern bemerkbar macht. Um diese Frage zu prüfen, bedarf man nicht nur der Herstellung konstanter Eichtemperaturen, sondern auch einer Regulierung, die ihre Änderung mit bestimmter Geschwindigkeit vorzunehmen gestattet. Bevor nicht ein wirklich guter Thermorezipient der oben erwähnten Art existiert, ist eine Inangriffnahme dieser Frage aussichtslos. Doch scheint immerhin auf dem zuletzt angedeuteten Wege eine Möglichkeit zur Lösung vorzuliegen.

Wir wollen noch auf einen weiteren Punkt hinweisen. Erfolgt die Temperaturkorrektion durch die oben erwähnte Gasfüllung der Dosen, so bleiben trotzdem noch Fehler zurück. Die Einwirkung der Außentemperatur auf die Druckanzeige eines Aneroid wurde von A. Ott näher studiert, worüber in einer demnächst erscheinenden Arbeit des Verfassers Eingehenderes zu finden ist. Alle bisher im Gebrauch befindlichen neueren Höhengeräte sind so aufzufassen, daß sie nur für einen einzigen Druck (im allgemeinen Atmosphärendruck) als auf Temperatur korrigiert gelten können.

Um eine Übersicht über die elastischen Eigenschaften eines Höhenschreibers

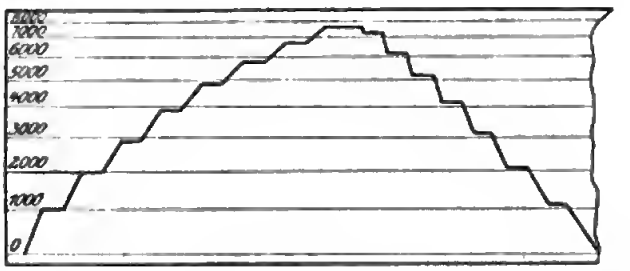


Abb. 147. Schema einer Eichkurve (elastische Nachwirkung).

zu bekommen, werden im Rezipienten An- und Abstiegskurven aufgenommen. Das zweckentsprechendste Verfahren ist wohl folgendes: Man reguliert fortgesetzt die Druckabnahme bzw. Zunahme entsprechend der Geschwindigkeit, mit der ein normales Flugzeug zu steigen oder gleiten vermag, und markiert die jeweils erreichten Tausender. Man hätte also für den Anstieg 0—5000 m etwa 40 Minuten, bis 8000 m etwa 70 Minuten, für den Abstieg von 8000—0 m etwa 15 Minuten Meßzeit anzusetzen. Da diese für die praktische Eichung somit unzweckmäßig groß wird, kürzt man das Verfahren ab, indem man stufenweise den Druck in Sprüngen von 500 oder 1000 m steigert oder vermindert und bei Erreichung jeder Stufe einige Zeit wartet. Dadurch entstehen Kurven nach der Art von Abb. 147. Sind die Gesamtzeitspannen dieser Eichungen etwa gleicher Größe (20—30 Minuten), so geben solche Kurven die Möglichkeit einer vergleichsweisen Abschätzung der elastischen Eigenschaften verschiedener Fabrikate. Man bildet einfach die Differenzen der Höhen zweier zusammengehöriger Stufen bei Auf- und Abstieg. (Für die Stufe 0 m soll die Differenz verschwinden, was nach dem Durchlaufen mehrerer Zyklen nacheinander immer der Fall sein muß. Ein längere Zeit unbenutztes Gerät wird jedoch beim ersten Zyklus immer eine Differenz bei der Stufe 0 aufweisen. Je kleiner diese ist und je weniger Zyklen bis zu ihrem Verschwinden

zu durchlaufen sind, desto günstiger ist die Beurteilung.) Die Differenzen weisen bei mittleren Stufen (4000—5000 m) ein Maximum auf, das auch bei mehrmals wiederholten Zyklen nicht verschwindet. Dieses Maximum ist das geeignetste Kriterium für die Größe der elastischen Nachwirkung. Erfahrungsgemäß erreicht es 200 m und darüber, bei guten Geräten jedoch nicht mehr als 80 m. Wieweit man durch günstige Konstruktion herunterkommen kann, zeigt ein Prüfresultat an einem Ottschen Höhenschreiber (Abb. 148). Um

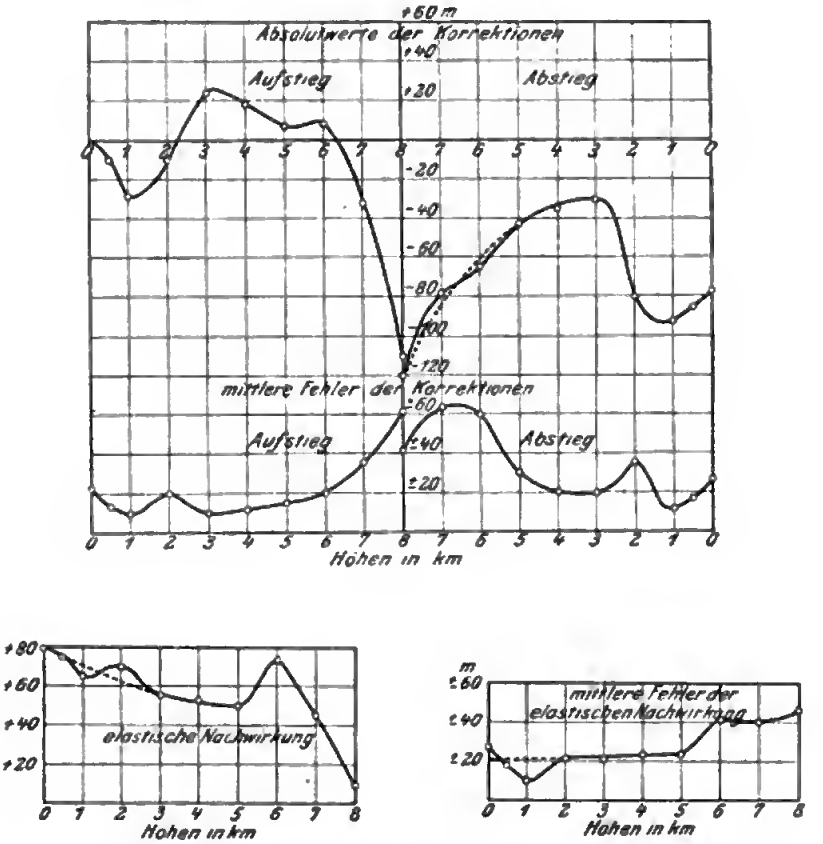


Abb. 148. Prüfergebnis eines Höhenschreibers (Ott).

nun die Abweichung von dem wahren Werte möglichst klein zu machen, justiert man praktisch so, daß sich die Aufstiegsstufen um ebensoviel im Mittel unter der entsprechenden Diagrammlinie halten, wie die Abstiegsstufen über derselben. Zur Ausschaltung von Willkürlichkeiten wurden als Toleranzen im letztgenannten Sinne für Höhen von 0—6000 m 2 %, für Höhen von 6000—8000 m 3 % der jeweiligen Höhe gewährt. Dabei wurde der Massenfabrikation Rechnung getragen. Das einzelne Gerät kann in wesentlich engeren Grenzen ausgeführt werden.

Zur bequemen Kontrolle brachte die Firma Goerz Lehren (Abb. 149) heraus, bestehend aus Glastafeln mit eingeätzten Höhendoppellinien von der angegebenen Toleranz.

Zum Vergleich bei Eichungen werden genaue Quecksilberbarometer verwandt (z. B. der Firma Fueß), die jeweilig, d. h. mindestens jeden Tag, mit einem stationären Normalbarometer zu vergleichen sind. In Eichräumen, die stärkeren Temperaturschwankungen unterliegen, ist die Temperatur des Raumes zu berücksichtigen, insofern sie auf das spezifische Gewicht des Quecksilbers wirkt. Bei Masseneichung läßt sich dies am einfachsten dadurch erreichen, daß man die Eichvorrichtung mit einer Anzahl von Höhenteilungen versieht, die von 5 zu 5° variieren. Diese sind nach Tabelle S. 81 entworfen, so daß sich die fortwährende Benutzung dieser Tabelle erübrigt. An Stelle offener Barometer kann man auch geschlossene benutzen. In diesem Falle ist auf die Trockenheit des verwandten Quecksilbers

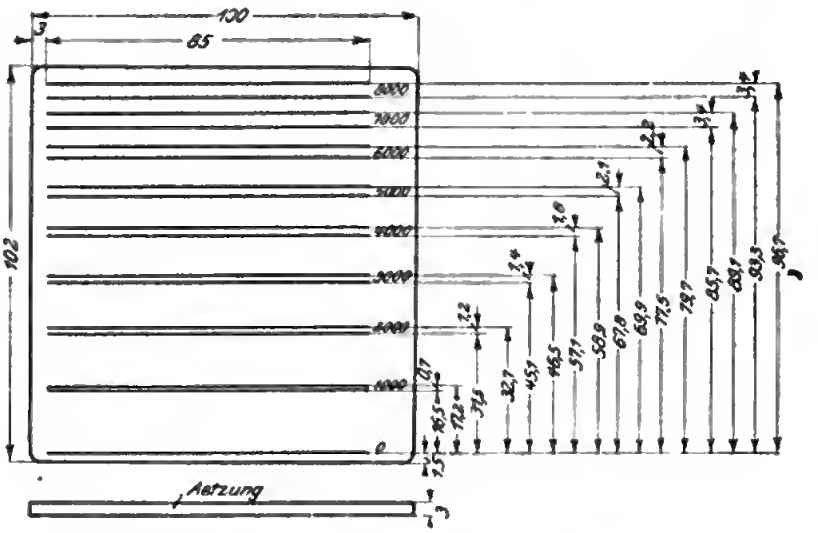


Abb. 149. Toleranzlehre für Höhenschreiberdiagramme (Goerz).

besonderer Wert zu legen, da andernfalls Dampfspannungen die Messungen stören können.

Bei der Einstellung des Prüflings vor der Eichung ist der jeweilige Barometerstand zu berücksichtigen, wobei der Apparat zu erschüttern ist. Diese Einstellung muß recht genau geschehen, da geringe Abweichungen zu größeren Fehlern führen können, so daß ein vermeintliches Überschreiten der Toleranzgrenzen häufig auf eine ungenügende Berücksichtigung dieses Punktes zurückzuführen ist. Prüflinge, die längere Zeit unbenutzt gestanden haben, weisen meistens anfangs einen falschen Gang auf, so daß es sich als vorteilhaft erweist, sie vorher einem „blinden" Druckzyklus zu unterwerfen. Um auch bei höheren Tagesdrucken diese Nullpunktseinstellung gut ausführen zu können, sind bei Höhenmessern und neuerdings auch bei Höhenschreibern einige Teilstriche bzw. Diagrammlinien unter dem Nullpunkt vorgesehen (siehe Abb. 93 bei b).

Die Mittel, die zur Erzeugung des benötigten Vakuums dienen, richten sich nach dem Umfang der Eichung. Für Prüfungen großer Serien kommen wohl nur elektrisch betriebene Vakuumpumpen in Frage. Die Rezipienten nehmen alsdann

Abb. 150. Einzelprüfstand für Höhenmesser (Goerz).

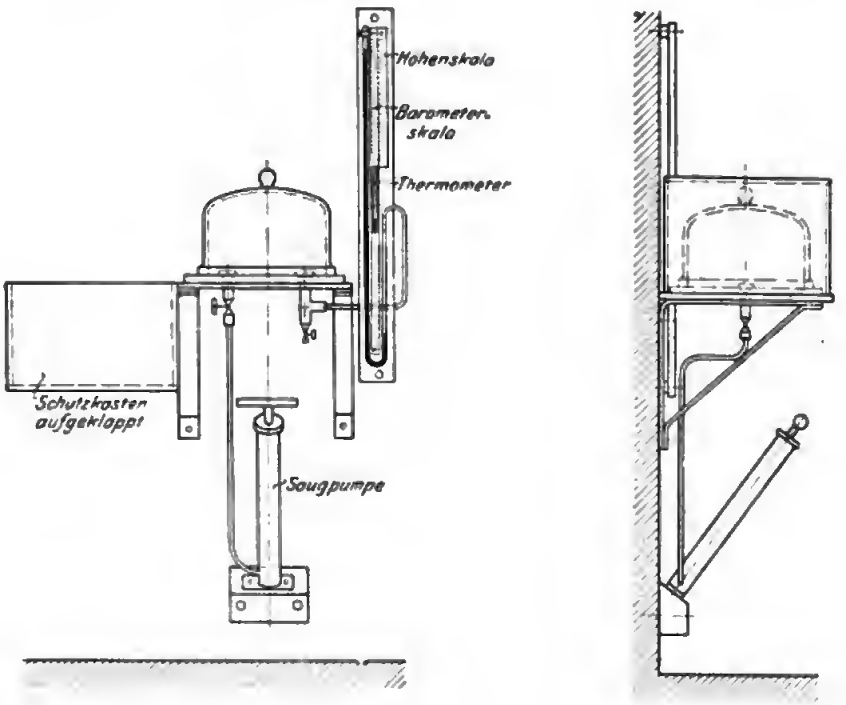


Abb. 151. Einzelprüfstand für Höhenmesser (Jahn).

mehrere Prüflinge gemeinsam auf (sechs Höhenschreiber oder zwölf Höhenmesser). Gestelle für Höhenmesser müssen so eingerichtet sein, daß die parallaxenfreie Ablesung jedes einzelnen möglich ist. Für Serienprüfungen im mittleren Maße sind Ölpumpen (z. B. Gaede) sehr brauchbar; sie haben den Vorteil geringeren Stromverbrauchs. Bei Einzeleichungen, namentlich im Aushilfsfalle, aber auch bei Vergleichsflügen und in Fällen, wo eine Nacheichung in möglichster Nähe des Flugplatzes erwünscht ist, kann man zur Not Handpumpen verwenden. Solche Aggregate sind in Abb. 150 und 151 abgebildet. Erfahrungsgemäß zeigen sich leicht Undichtigkeiten bei derartigen kleinen Geräten.

3. Mechanische Landungsmesser.

Das Bestreben, einen Höhenanzeiger für Bodennähe zu schaffen, führte zu verschiedenen Versuchen, von denen namentlich diejenigen mit einem von der Firma Schlave hergestellten Gerät zu nennen sind. Das Tastorgan besteht aus einem leichten Stahlrohr von etwa 3,5 m Länge, das an einem Gelenk unterhalb des Führersitzes angebracht wird und für gewöhnlich nach hinten unter den Rumpf geklappt ist. Von seinem freien Ende führt ein leichtes Kabel durch den Boden zum Beobachter, mittels dessen es vor der Landung heruntergelassen werden kann. Es hängt alsdann im schwachen Winkel nach hinten und ist gegen den Luftstrom unempfindlich. Stößt es auf den Boden auf, so gibt es leicht nach und betätigt durch einen Schnurlauf einen Anzeiger, der dem Führer die Bodennähe abzulesen gestattet. Voraussetzung dabei ist eine einigermaßen horizontale Lage des Flugzeugs. Ist der Boden uneben, so zeigen sich derartige Schwankungen des Rohrs, daß ein Ablesen unmöglich ist. Gras oder dergleichen stellt kein Hindernis dar. Bei zweckmäßiger Durchbildung kann ein solches Gerät sehr wohl seine Dienste erfüllen; namentlich ist es bei niedrigem Bodennebel von großem Vorteil.

Der Ersatz des Stahlrohres durch Senklote, wie sie früher versuchsweise angewandt wurden, ist, wie bereits erwähnt, ziemlich aussichtslos. Die einzige Möglichkeit, die indes noch nicht erprobt wurde, besteht in der Anbringung zweier Lote, je eines an der Spitze und am Ende des Rumpfes, die nach unten vereinigt und dort durch ein Gewicht beschwert sind.

4. Optische Landungsmesser.

a) Lichtquelle im Flugzeug selber.

Die Firma Optika hat ein Gerät herausgebracht, das auf folgendem beruht (Abb. 152): Im Flugzeug befindet sich eine Lichtquelle, die von seinem Schwanz aus einen Lichtkegel nach vorn unten wirft, und zwar entweder direkt oder mit Hilfe eines im Ende des Rumpfes untergebrachten Spiegels. Es entsteht somit auf dem Erdboden ein Lichtkreis, der durch eine optische Vorrichtung (Abb. 153) im Führersitz auf eine Skala projiziert wird. Dieses Bild verschiebt sich nun mit wechselnder Höhe über Boden, ist dagegen von der Längslage des Flugzeuges nur wenig abhängig. Das wird dadurch erreicht, daß man den Lichtfleck möglichst senkrecht unter das Flugzeug verlegt. Auf diese Weise wird das Gerät zur Höhen-

Digitized by Google

anzeige bis zu etwa 50 m geeignet. Die Genauigkeit der Ablesung wächst naturgemäß bei Annäherung an den Boden ganz so, wie es die Technik des Fluges erfordert. Versuche ergaben zwar die Brauchbarkeit einer derartigen Vorrichtung, sie zeigten jedoch, daß es einer besonderen Übung des Führers bedarf, um nach ihrer Anzeige wirklich einwandfrei zu landen. Die Beobachtung der im oder neuerdings am Rumpfe angebrachten Skala lenkt die Aufmerksamkeit des Führers von der Beobachtung der Gleichgewichtslage leicht ab. Da außerdem ein solches Gerät wohl hauptsächlich bei Notlandungen, d. h. auf unbeleuchteten Plätzen, zur Anwendung kommt, entzieht es den Blick des Führers der Landestelle und etwa vorhandenen Hindernissen. Aus diesem Grunde wurden gewisse Bedenken dagegen erhoben; jedoch ist das letzte Wort noch nicht gesprochen.

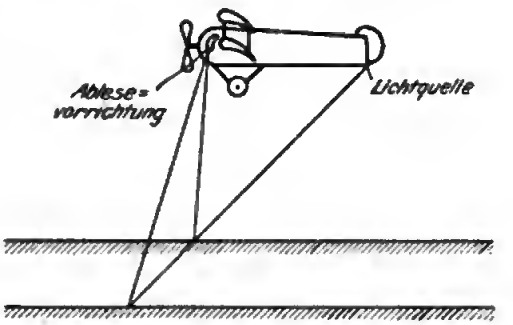


Abb. 152.
Prinzip des Landungsmessers „Optika".

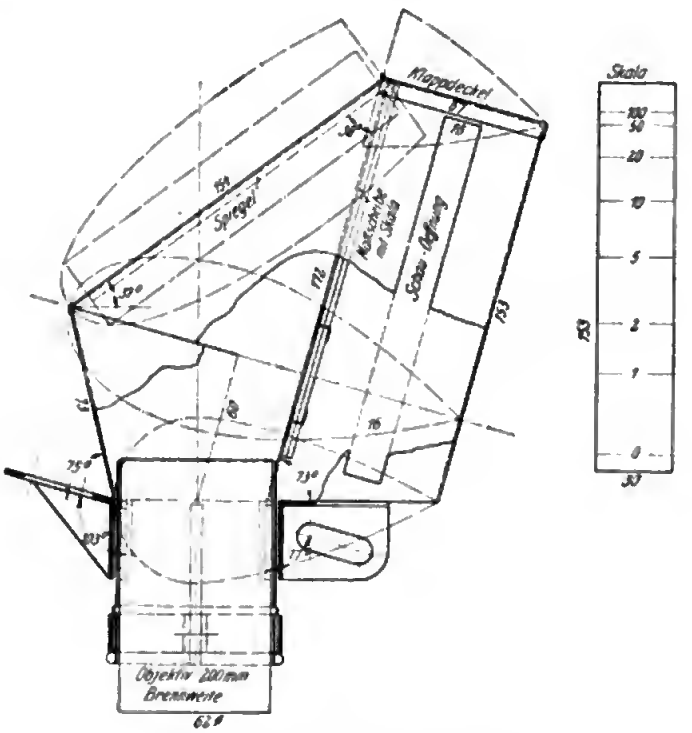


Abb. 153. Landungsmesser „Optika".

Um den letztgenannten Übelstand zu beseitigen, könnte z. B. das Verfahren in etwas anderer Weise ausgebildet werden: Man läßt von zwei räumlich getrennten Stellen des Flugzeuges, am besten Vorder- und Hinterrumpf, zwei Lichtkegel nach

unten fallen, entweder mit Hilfe zweier Lichtquellen oder durch Spiegelung, so daß auf dem Erdboden zwei Lichtkreise entstehen, die sich bei abnehmender Flughöhe einander nähern und etwa in Abfanghöhe schneiden (Abb. 154). Auf diese Weise wird die Ablesung von der Skala nach dem Boden verlegt. Bei größeren Höhen (über 20 m) tritt an Stelle einer Messung nur eine ungefähre Schätzung, dafür ist aber die Landung selbst leichter zu vollziehen, weil der Blick des Führers ohnehin nach dem Boden gerichtet ist. Da jedoch bei diesem Verfahren die Lichtkreise nicht unter, sondern vor dem Flugzeug liegen müssen, werden sich Steillagen im Gleitflug ungünstiger bemerkbar machen; somit dürfte auch diese Vorrichtung eine gewisse Übung des Führers verlangen. Versuche dieser Art sind noch nicht unternommen.

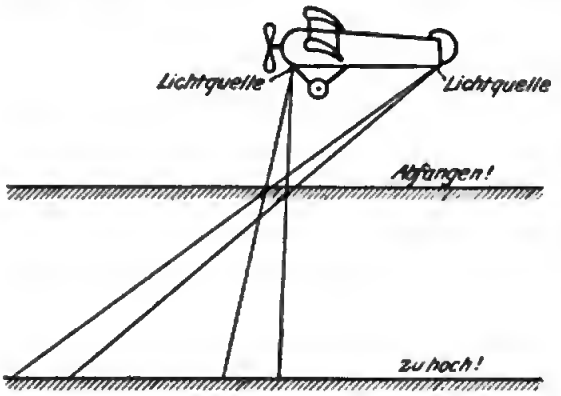


Abb. 154.
Optischer Landungsmesser nach Bennewitz.

b) Landungsanzeiger am Boden.

Handelt es sich um Nachtlandungen auf vorgesehenen Flugplätzen, so kann die Bestimmung der Flughöhe auch durch optische Mittel, die auf dem Boden

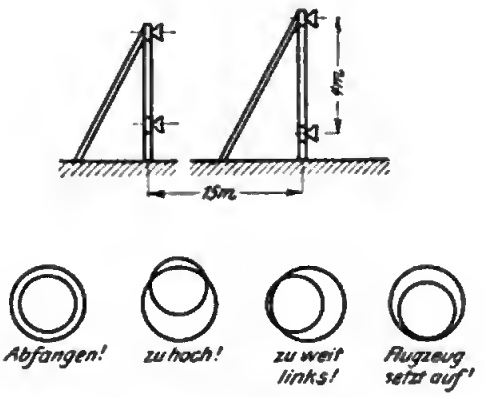


Abb. 155. Hönigsche Kreise.

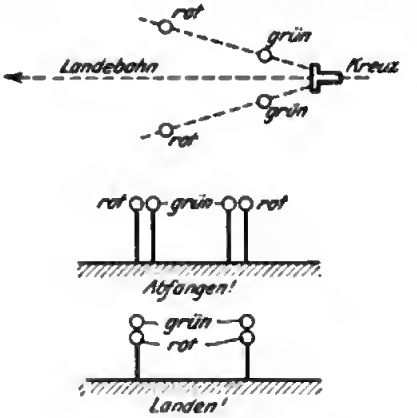


Abb. 156. Landungstor.

selber stehen, erfolgen. Am bekanntesten sind hier die sog. Hönigschen Kreise (Abb. 155), zwei mit Glühlampen besetzte Ringe von großen Dimensionen (mindestens 3 m, besser 5 m und mehr Durchmesser), die lotrecht hintereinander in einem Abstande von 10 bis 20 m aufgestellt sind; je nach Flughöhe und Richtung erscheinen sie als zwei zueinander exzentrische oder konzentrische Kreise oder Ellipsen, aus deren Exzentrizität man ohne Schwierigkeit auf Höhe- und Lande-

richtung schließen kann. Da es sich hierbei um verhältnismäßig schwer transportable Gerüste handelt, ist ein Stellungswechsel z. B. bei wechselndem Winde nur schlecht auszuführen, so daß bisweilen benötigte Verlegungen der Landebahn kaum durchführbar sind. In diesem Sinne bequemer, aber auch weniger zuverlässig als Landungsweiser ist eine als „Landungstor" bekannt gewordene Anordnung (Abb. 156). Sie besteht aus vier evtl. verschiedenfarbigen Lichtern, die so aufgestellt sind, daß sie sich dem Führer bei der Landung als Ecken regelmäßiger Vierecke zeigen, woraus wieder auf Flughöhe und Richtung geschlossen werden kann. Erfordert schon die Beurteilung Hönigscher Kreise eine gewisse Übung, so ist das bei diesem „Landungstor" in erhöhtem Maße der Fall. Jedenfalls dürfen sich die Lichter nicht zu nahe am Boden befinden und müssen so weit von der Landestelle entfernt sein, daß sie kein Hindernis bilden. Dadurch ergibt sich einerseits die Notwendigkeit einer scharfen Peilung beim Landen, andererseits die Forderung beträchtlicher Helligkeit der Lichtquellen, so daß auch ihre Transportfähigkeit erschwert ist.

5. Akustische und elektrische Höhenmessung.

Sendet man vom Flugzeug aus akustische oder elektrische Wellen, so werden diese vom Erdboden teilweise reflektiert. Man kann daran denken, diese reflektierten Wellen mit den ausgesandten in Interferenz zu bringen, um auf diese Weise eine Höhenmessung zu erreichen. Bedingung dabei ist, daß die Wellenlänge groß im Vergleich zu der zu messenden Höhe ist. Akustische Wellen haben nun in dem gut hörbaren Bereich eine Länge von nur wenigen Metern, so daß sie in dieser Weise kaum Verwendung finden können. Außerdem hat die Erfahrung gelehrt, daß das Ohr des Flugzeugführers kein brauchbarer Detektor ist, da es durch die Geräusche des Fluges abgestumpft wird. So ist bereits das gewöhnliche Telephon im Flugzeug kein geeignetes Verständigungsmittel, ganz abgesehen davon, daß es die Aufmerksamkeit des Führers stark in Anspruch nimmt.

Dagegen besitzt man für elektrische Wellen geeigneter Länge noch genügend zuverlässige Detektoren, die eine Verwendung in gedachtem Sinne als möglich erscheinen lassen. Über Versuche, die auf diesem Gebiet angestellt worden sind, kann hier leider nichts berichtet werden, da das Material darüber nicht zur Verfügung steht.

Damit sind die Mittel zur Höhenmessung zur Zeit erschöpft. Zusammenfassend kann man sagen, daß zwar schon manches erreicht wurde, aber noch mehr zu tun übrigbleibt.

B. Variometer.

Variometer dienen zur Messung der Steiggeschwindigkeit. In ähnlicher Weise, wie bei den Höhenmessern, ist auch hier die wesentliche Frage diejenige nach dem Bezugssystem; nur spielt hier die Nullebene nicht die Rolle wie bei letzteren. Bei Höhenmessern handelt es sich um die Messung der Höhe $h + h'$, worin h' die Höhe des Geländes über der Nullebene ist, bei Variometern um die des Differentialquotienten $\frac{dh}{dt}$, so daß h' als Konstante herausfällt. Wohl aber tritt hier die Frage auf, ob die Steiggeschwindigkeit im ruhenden Erdfeld oder im ruhenden Luftfeld

zu messen ist. Bei den Höhenmessern ist diese Frage bedeutungslos, da ja die Höhenanzeige durch die Luftströmung als solche nicht beeinflußt wird, sondern höchstens durch die mit dieser Strömung zusammenhängende Dichtevariation. Hier aber ist gerade eine Geschwindigkeitsgröße zu bestimmen, die durch andere Geschwindigkeiten überdeckt wird. Wir unterscheiden demnach wieder absolute und relative Variometer. Erstere sind für die Praxis des Rekordflugs, sowie für Reihenbildaufnahmen, also bei der Landesvermessung, wichtig; letztere dienen vorwiegend der Messung von Steigleistungen, bei denen die auf Kosten der Luftströmung erzielten Höhendifferenzen eliminiert werden sollen. Beide Arten von Instrumenten haben also ihre Berechtigung.

1. Absolute Variometer.

a) Mechanische, akustische, elektrische, photographische Variometer.

Absolute Variometer mit mechanischer, akustischer oder elektrischer Messung nach Analogie bei den Höhenmessern gibt es noch nicht, obwohl insbesondere letztere Art durchaus denkbar wäre; wahrscheinlich erforderten sie jedoch eine recht umständliche Konstruktion. Dagegen ist für ganz genaue Messungen wieder das photographische Verfahren in Verbindung mit einer Zeitmessung möglich und sogar recht einfach. Wieder leidet es an dem Mangel, daß es für die augenblickliche Ablesung nicht in Frage kommt.

b) Steigmessung mittels Höhenmessers.

Jeder Höhenmesser kann zur Bestimmung der absoluten Steiggeschwindigkeit dienen, wenn seine Ablesungen nach der Uhr erfolgen. Das Verfahren erfordert jedoch etwas Rechnung.

c) Variometer „Bestelmeier".

Das bisher allein mit Erfolg in der Praxis verwandte absolute Variometer nach dem Prinzip Bestelmeier benutzt die Abnahme der Luftdichte mit der Höhe und vergleicht die Geschwindigkeit dieser Abnahme mit der des Druckausgleichs zwischen der Meßdose und der Atmosphäre mittels einer Kapillare. Die Messung des Druckes kann dabei durch eine Barometerdose oder ein Flüssigkeitsmanometer erfolgen. Die letztere, ursprüngliche Art hat sich dabei als die überlegenere gezeigt, wenn auch die erstere bei nicht zu hohen Ansprüchen Gutes leistet und den Vorteil hat, daß die Geräte leichter zu bedienen und widerstandsfähiger sind. Das Prinzip ist folgendes (Abb. 157): Ein gegen Wärmewirkung gut geschützter Ballon (Dewargefäß) ist durch Rohre gleichzeitig mit einem Manometer und einer ins Freie führenden Kapillare versehen. Das Manometer mißt den Druckunterschied zwischen Ballon und Außenluft. Bei horizontalem Flug ist Innen- und Außendruck

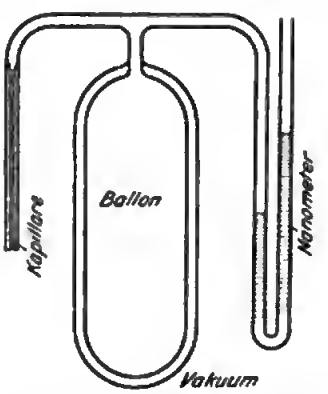


Abb. 157. Schema des Variometers „Bestelmeier".

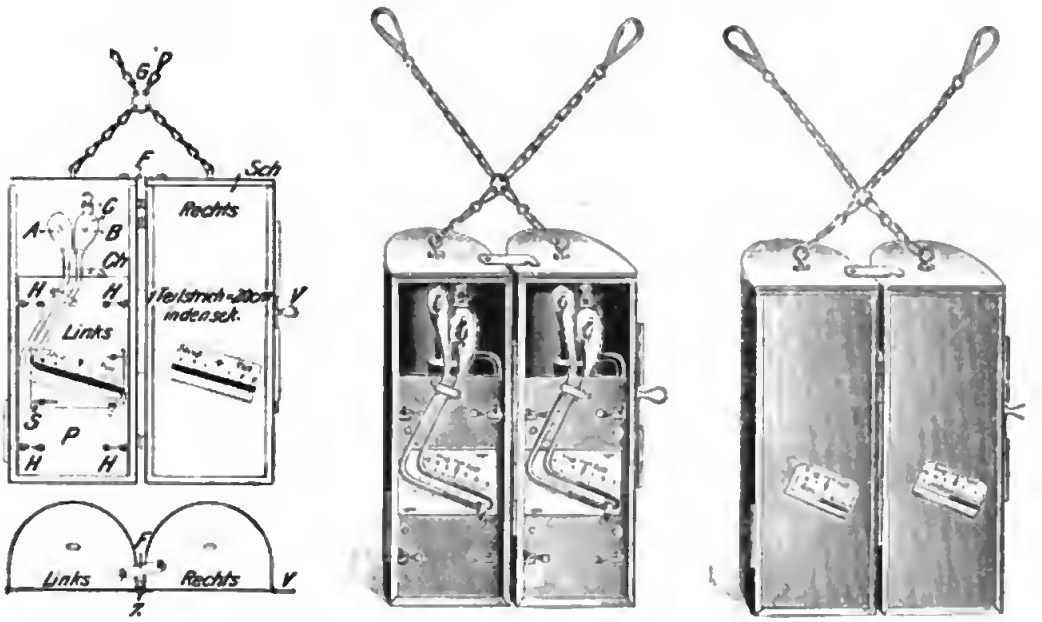


Abb. 158. Variometer „Bestelmeier" (Hase).

Abb. 159. Variometer (Atmos).

Abb. 160. Variometer (Atmos), neuere Form.

Digitized by Google

gleich, da beide durch die Kapillare kommunizieren; die Anzeige ist Null. Bei konstantem Anstieg nimmt der Außendruck ab, der Innendruck kann sich jedoch nur allmählich ausgleichen, so daß ein Druckunterschied auftritt, der etwa der Steiggeschwindigkeit entspricht. In der unten entwickelten Theorie wird auf weitere Einzelheiten eingegangen; namentlich ergibt sich, daß die Anzeige in gewissem Maße von der Höhe abhängig ist. Das ist zwar ein Fehler, der sich jedoch durch geeignete Konstruktion so verkleinern läßt, daß er bei den praktisch erreichbaren Flughöhen keine Rolle spielt.

Dies Instrument in seinen verschiedenen Ausführungsarten ist das einzige, das bisher im Flugzeug Verwendung gefunden hat. Es ist für den Luftballon ersonnen worden und hatte bereits damals die Kinderkrankeiten, z. B. hinsichtlich des Temperaturgradienten, überwunden. Erschütterungen schaden ihm nicht besonders. Seine hauptsächlichste Bedeutung hat es im Riesenflugzeug gefunden, dessen Steigleistung erheblich von der richtigen Steuerung abhängt; ferner ist es von großem Vorteil bei Reihenbildaufnahmen, bei denen es als Nullinstrument benutzt wird; und schließlich wird es in gleichem Sinne beim Bombenabwurf verwendet.

Abb. 158—160 zeigen die gebräuchlichen Ausführungsformen.

d) Theorie des Bestelmeierschen Variometers.

Da das oben besprochene Variometer mit einem unvermeidbaren Fehler behaftet ist, der sich im Fluge stark bemerkbar machen kann, ist sowohl für den Bau wie für die Anwendung bei höheren Genauigkeitsansprüchen die Kenntnis der Theorie notwendig, die ich in folgendem geben will.

Wir sehen dabei von äußeren Temperaturänderungen ab und wollen ein mit der konstanten Vertikalgeschwindigkeit

$$\alpha = \frac{dh}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

ansteigendes Flugzeug betrachten. Am Boden herrsche der Luftdruck p_0, in der Höhe h der Druck p_a. Dann gilt die vereinfachte Höhenformel:

$$h = c \ln \frac{p_0}{p_a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

wo $c = \frac{18400}{e} = 6770$ m eine Konstante ist.

Anders geschrieben:

$$p_a = p_0 \cdot e^{-\frac{h}{c}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

Da nun h eine Funktion der Zeit ist, können wir auch p_a als solche ausdrücken. Aus (1) folgt:

$$h = \int_0^t \alpha \, dt = \alpha t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

womit sich aus (2a) ergibt:

$$p_a = p_0 \cdot e^{-\frac{\alpha}{c} t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Nun herrscht im Innern des Variometers ein Druck p_i, der beim Aufstieg immer ein wenig größer als der jeweilige Außendruck p_a ist. Wir können, da diese Druckdifferenz nur klein ist, die zeitliche Änderung von p_i proportional dem Druckunterschied $p_i - p_a$ setzen, und erhalten:

$$\frac{dp_i}{dt} = -\beta\,(p_i - p_a) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

wo β eine positive Konstante ist.

In diese Gleichung setzen wir (Gl. 4) ein:

$$\frac{dp_i}{dt} = -\beta\,p_i + \beta\,p_o \cdot e^{-\frac{\alpha}{c}t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Gl. (6) enthält die Lösung der Aufgabe. Man kann sie folgendermaßen umwandeln:

$$\frac{d^2p_i}{dt^2} + \left(\frac{\alpha}{c} + \beta\right)\frac{dp_i}{dt} + \frac{\alpha\beta}{c}p_i = o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Das ist die Gleichung einer gedämpften Schwingung; da nun das Kriterium für periodische Schwingungen:

$$\left(\frac{\alpha}{c} + \beta\right)^2 < \frac{4\,\alpha\beta}{c}$$

durch reelle Werte von α und β nicht erfüllbar ist, haben wir es allgemein mit aperiodischen Schwingungen zu tun. Die Lösung von Gl. (7) hat also die Form:

$$p_i = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{c}+\beta\right)t}\left[A\,e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{c}-\beta\right)t} - B e^{+\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{c}-\beta\right)t}\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Die Konstanten A und B ergeben sich aus den Grenzbedingungen für $t = o$:

$$p_{i\,(t=o)} = p_o = A - B$$

$$\left.\frac{dp_i}{dt}\right|_{(t=o)} = o = -A\frac{\alpha}{c} + B\beta$$

es folgt somit:

$$A = \frac{p_o\beta}{\beta - \frac{\alpha}{c}} \quad \text{und} \quad B = \frac{p_o\frac{\alpha}{c}}{\beta - \frac{\alpha}{c}}.$$

In Gl. (8) eingesetzt, ergibt sich nach kurzer Rechnung:

$$p_i = \frac{p_o}{\beta - \frac{\alpha}{c}}\left[\beta e^{-\frac{\alpha}{c}t} - \frac{\alpha}{c}e^{-\beta t}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Während des mit konstanter Geschwindigkeit α erfolgenden Anstiegs soll nun das Variometer fortwährend denselben Wert anzeigen, d. h. die Differenz des Innen- und Außendrucks am Manometer soll konstant bleiben. Wir haben also den Ausdruck $p_i - p_a$ zu betrachten.

Verknüpfen wir Gl. (9) und Gl. (4) und führen zugleich nach Gl. (3) wieder h für t ein, so erhalten wir endlich:

$$p_i - p_a = \frac{\alpha}{\beta c - \alpha} \cdot p_o\left[e^{-\frac{1}{c}h} - e^{-\frac{\beta}{\alpha}h}\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Wie man sieht, ist $p_i - p_a$ abhängig von der Flughöhe h, im Widerspruch zu unserer Forderung. Es gelingt nicht, etwa durch Wahl der einzigen verfügbaren Konstanten β die Abhängigkeit zu beseitigen. Setzen wir nämlich $\beta = o$, d. h. verschließen wir die Kapillare vollständig, so wird $p_i = p_o$; das will besagen, daß das Variometer nunmehr als Barometer arbeitet, wie auch die Anschauung ergibt. Setzen wir dagegen $\beta = \frac{\alpha}{c}$, so wird der Ausdruck (10) unbestimmt. Die Ausrechnung ergibt dann:

$$p_i - p_a = p_o \frac{h}{c} \cdot e^{-\frac{h}{c}} = \frac{h}{c} p_a;$$

auch dieser Fall, der einer sehr engen Kapillare entspricht, ist für uns unbrauchbar, da die Steiggeschwindigkeit α gar nicht darin vorkommt. Wir haben einfach ein „undichtes" Barometer vor uns.

Einzig die Bedingung $\beta \gg \frac{\alpha}{c}$ führt zu einem Ergebnis. In diesem Falle können wir nämlich (bei einigermaßen großem h) das zweite Glied der Klammer in Gl. (10) neben dem ersten unterdrücken und erhalten mit Gl. (2a):

$$p_i - p_a = \frac{\alpha}{\beta c - \alpha} \cdot p_a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

oder noch einfacher:

$$p_i - p_a = \frac{\alpha}{\beta c} \cdot p_a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Nunmehr wird die Manometeranzeige $(p_i - p_a)$ proportional der Steiggeschwindigkeit α; wir sehen aber, daß der äußere barometrische Druck p_a als weiterer Faktor hinzukommt. Wir haben also die Variometeranzeige durch den jeweiligen Druck p_a, den wir einem Höhenmesser entnehmen können, zu dividieren, um ein eindeutiges α zu erhalten. Hierauf ist bei den gebräuchlichen Variometern bisher keine Rücksicht genommen.

Die Bedingung $\beta \gg \frac{\alpha}{c}$ bedeutet die Verwendung einer relativ weiten Kapillare. Je weiter wir sie nehmen, um so exakter ist Gl. (12) erfüllt; zugleich aber nimmt die Absolutgröße der zu messenden Druckdifferenz $p_i - p_a$ ab. Durch die Empfindlichkeit des Manometers ist also für β eine obere Grenze gesetzt.

Für den Bau ergibt sich die Forderung: möglichst weite Kapillare, möglichst empfindliches Manometer.

Für die Auswertung ergeben sich folgende Gesichtspunkte: Ist die Steiggeschwindigkeit α klein (oder sogar 0), so ist die obige Bedingung besser (oder vollkommen) erfüllt. Als Nullinstrument ist jedes Variometer brauchbar, also auch ein solches mit enger Kapillare. Für Anwendungszwecke, wie beim Reihenbildner, wo es auf die Innehaltung gleicher Höhe ankommt, sind solche Variometer sogar zu bevorzugen, da sie relativ größere Ausschläge ergeben.

Mit wachsendem α wird die Anzeige ungenauer; da nun α auch die Fallgeschwindigkeit umfaßt, letztere aber recht beträchtliche Werte (30 m pro Sek.) annehmen

kann, so werden für solche Fälle bei den gebräuchlichen Geräten gänzlich falsche Anzeigen auftreten.

Setzt man bestimmte Zahlenwerte ein, so ergibt sich schon für Größen von $\alpha = 10$ m pro Sek. die Notwendigkeit, Druckdifferenzen von etwa 0,2 mm Hg zu messen, was an das Manometer bereits hohe Anforderungen stellt.

Unter allen Umständen hat man aber den abgelesenen Wert noch mit dem Barometerdruck zu korrigieren, wie Gl. (12) lehrt. Es wäre übrigens denkbar, diese Korrektion mechanisch vornehmen zu lassen. Versuche dieser Art sind wohl noch nicht unternommen.

Endlich folgt noch aus Gl. (10), daß in ganz niedrigen Höhen, also kurz nach dem Start, die Anzeige unbedingt falsch ist. Der Grund liegt darin, daß sich anfangs das Druckgefälle erst ausbilden muß. Bei sehr engen Kapillaren tritt dieser Zustand sogar erst in nicht unbeträchtlichen Flughöhen ein. Übrigens ist bei jeder Änderung der Steiggeschwindigkeit diese Einstellzeit zu berücksichtigen.

Die Auswertung einer Variometeranzeige erfordert somit größte Vorsicht und Kenntnis des Instruments. Eine diesbezügliche Eichung erfolgt am besten im Fluge durch vergleichende Abstoppung von Höhenmessern.

Vielleicht ist auch der oben begründete Hinweis nicht überflüssig, in Zukunft zwei Arten von Instrumenten zu unterscheiden, nämlich „Variometer" und „Statometer", evtl. beide zu einem umschaltbaren Gerät zu vereinigen.

e) Intermittierende Variometer.

Ein weiteres Prinzip für Variometer, das ebenfalls die Luftdichte verwendet, besteht in folgendem. Denken wir uns die Kapillare durch einen Hahn ersetzt, der mittels eines Uhrwerks in bestimmten Zeitabständen abwechselnd geöffnet und geschlossen wird, so wird das wie oben vorgesehene Manometer jedesmal bis zu einem Maximaldruck steigen, der der mittleren Steiggeschwindigkeit entspricht. Auf die Eigenschaften der hieraus resultierenden Anzeige soll hier nicht weiter eingegangen werden. Um nun nicht die jedesmalige Einstellung abwarten zu müssen, kann man drei solcher Anzeiger kombinieren, von denen jedesmal einer die momentane Geschwindigkeit angibt; dadurch wird freilich der ganze Apparat und namentlich das Wechselventil reichlich umständlich. Die Anzeigen sind jedoch genauer als die des „Bestelmeier". Störend für den Betrieb im Flugzeug wirkt hierbei das Erfordernis eines konstant laufenden Uhrwerks, das irgendeiner Kraftquelle bedarf. Aus diesem Grunde dürfte sich das Instrument auch kaum einbürgern, ist aber für genauere Momentanmessungen das beste bisher bekannt gewordene.

2. Relative Variometer.

a) Vertikalanemometer.

Die relativen Variometer benutzen als Bezugssystem die Luft. Um Steiggeschwindigkeiten dieser gegenüber zu bestimmen, bedarf man einer Windmühle, etwa in Form eines Propellers oder eines Schalenkreuzes (z. B. Abb. 161), wie es für Freiballons Verwendung findet. Man könnte daran denken, etwa einen horizontal

Abb. 161. Vertikalanemometer nach Prof. Precht (Dr. Hase).

gelegten Propeller, der durch ein Pendel stabilisiert ist, durch den beim Steigflugvon oben nach unten gerichteten Luftstrom treiben zu lassen, um seine Umdrehungsgeschwindigkeit, ähnlich wie beim Anemometer, zu messen. Ein derartiges Instrument wäre nun im Flugzeug alles andere als zweckmäßig, da der von vorn nach hinten gerichtete Luftstrom den ersteren nicht ungestört zur Entwicklung kommen läßt.[1]) Wollte man jedoch nur die Richtung der Resultante beider, etwa durch Verwendung einer Windfahne, in Vergleich zu einem Pendel messen, so benötigte man außerdem noch die Kenntnis der Vortriebsgeschwindigkeit. Beides vereinigt folgende sehr sinnreiche Konstruktion, die sich zwar bisher noch nicht restlos bewährt hat, aber sicher zu einem brauchbaren Gerät führen dürfte.

b) Anstiegmesser (Goerz).

Dies Instrument beruht auf folgendem Prinzip: Durch eine Luftschraube wird eine Drahtspule in Umdrehung versetzt, die in dem Felde eines permanenten Magneten liegt. Dieser Magnet ist als Pendel ausgebildet. Liegt die Achse der Spule horizontal, so sind die Windungen derart angeordnet, daß bei der Drehung keine Kraftlinien geschnitten werden. Der Strom ist also gleich Null. Die Achse des mit der Spule verbundenen Pendels trägt außerdem noch eine Art horizontaler Windfahne. Ist nun das Flugzeug im Anstieg begriffen, so stellt sich diese Windfahne und mithin die Achse der Spule in die Anstiegrichtung, während das Pendel im allgemeinen senkrecht nach unten hängt. Es werden nun Kraftlinien geschnitten, und der erzeugte Strom ist proportional dem Produkt aus Tourenzahl und dem Sinus des Anstiegwinkels α; andererseits ist die Tourenzahl wieder proportional der Geschwindigkeit des Flugzeugs, gemessen in der Anstieggeraden; und endlich ist letztere gleich dem Quotienten aus der vertikalen Steiggeschwindigkeit und dem Sinus des Winkels α. Wie man sieht, heben sich die Winkelfunktionen heraus und die Anzeige ergibt die vertikale Steiggeschwindigkeit, und zwar bezogen nicht auf das Erdfeld, sondern auf die ruhende Luft.

Zweifellos ist ein solches Instrument für aerodynamische Steigversuche von hoher Bedeutung. Leider ist jedoch die bis jetzt vorliegende Form noch nicht einwandfrei; so ist z. B. die Verwendung eines ungedämpften Pendels im Flugzeug ausgeschlossen, da, ganz abgesehen von Schwankungen des Flugzeugs selber, auch horizontale Beschleunigungen durch Windstöße viel häufiger auftreten, als man im allgemeinen annimmt, so daß das Flugzeug unter Umständen in eine pulsierende Bewegung geraten kann, die der Insasse kaum bemerkt. Es wird Aufgabe der

[1]) Über diese Frage siehe: P. P. Ewald, Phys. Zeitschr. **11**, 1214 (1910).

Technik sein, derartige Störungen nach Möglichkeit auszuschließen. Dieser Faktor spielt hier eine viel größere Rolle als beim Neigungsmesser, da die in Betracht kommenden Anstiegwinkel verhältnismäßig klein sind. Dies Instrument ist im übrigen das einzige ernst zu nehmende, das für relative Steigmessung bisher erdacht wurde.

Neuere Literatur. Vertikalgeschwindigkeitsmesser: A. Gockel, Bull. d. Schweiz. Aero-Club 13, 101—102 (1919).

C. Neigungsmesser (Kurvenmesser).

1. Allgemeines über Neigungsmessung.

Auf keinem Gebiet hat sich die Erfindertätigkeit so rege erwiesen, wie auf dem der Neigungsmesser. Einerseits erschien es als eine dankbare Aufgabe, dem Flieger die Arbeit zu erleichtern, und zweitens schien diese Aufgabe leicht lösbar zu sein. In letzterem haben sich jedoch die meisten Erfinder getäuscht; selten nur stehen ihnen Erfahrungen in der Technik des Fliegens zu Gebote, so daß die Vorstellungen, von denen sie ausgehen, meistens unzutreffende sind. Besonders ist es das Problem des Kurvenflugs, das viele reizte, das aber nur wenige richtig zu beurteilen vermochten. Man muß sich von vornherein die Frage stellen, was denn eigentlich ein Neigungsmesser anzeigen soll; und weiterhin hat man hier zwischen absoluten und relativen Neigungsmessern zu unterscheiden. Die ersteren sind solche, die die Neigung der Flugzeugebene zur Horizontalebene bestimmen, die letzteren solche, die die Neigung der Flugzeugebene zu einer zur jeweiligen Resultierenden der Beschleunigungen senkrechten Ebene angeben. Als eine dritte Klasse von Neigungsmessern ist noch diejenige zu erwähnen, die man am zweckmäßigsten mit dem Ausdruck aerodynamische Neigungsmesser kennzeichnet. Die Bezugsebene dieser letzteren ist von den jeweiligen Strömungsverhältnissen der Luft abhängig.

a) Relative Neigungsmessung.

Wir wollen zuerst die relativen Neigungsmesser betrachten. Dazu gehören alle solche Vorrichtungen, die die Eigenschaft besitzen, sich in Richtung der Beschleunigung einzustellen; ihr einfachstes Beispiel ist das Pendel. Seine Ausbildung kann in verschiedenster Weise erfolgen. Berücksichtigt werden muß dabei, daß alle solche Vorrichtungen Eigenschwingungen auszuführen imstande sind, die die Messung erschweren. Das wichtigste Erfordernis ist somit eine geeignete Dämpfung, die mechanisch, elektrisch oder magnetisch erfolgen kann. Zu solchen Pendeln gehören auch rollende Kugeln in gebogenen Röhren oder auf gewölbten Flächen, Libellen, Wasserwagen, Schwimmpendel in Flüssigkeiten, kommunizierende Röhren und deren Abarten.

Alle diese Vorrichtungen zeigen die Resultante der Beschleunigungen an; sie können in einer oder zwei Dimensionen beweglich sein und somit die Längs- oder Querneigung des Flugzeugs gesondert oder gleichzeitig messen. Die Entscheidung darüber, welche von beiden Formen man wählen soll, hängt eng mit den Steuerungsmitteln zusammen; bei Radsteuerung wird man erstere, bei Knüppelsteuerung letztere bevorzugen. Steht man nun auf dem flugtechnisch nicht völlig richtigen

Standpunkt, daß ein Flugzeug immer dann in richtiger Lage ist, wenn die Hochachse desselben mit der Richtung der resultierenden Beschleunigung zusammenfällt, so würde durch diese Instrumente bereits alles erreicht sein, was man von einem Neigungsmesser fordert. Bei kleineren Flugzeugen ist das nun tatsächlich der Fall; hier, wo das sog. Schieben des Flugzeugs in Fortfall kommt, würde ein solcher relativer Neigungsmesser allen Anforderungen genügen, die man flugtechnisch stellt. Anders bei großen Maschinen. Bei diesen hat sich ergeben, daß eine im obigen Sinne ausgeflogene Kurve unvorteilhaft, ja gefährlich werden kann. Bei Riesenflugzeugen ist man geradezu gezwungen, in der Kurve zu „schieben". Die Gründe hierfür liegen wohl in folgendem: Wenn ein Flugzeug plötzlich in die Kurve geht, so äußert sich die Richtungsänderung in einem Steigen des aerodynamischen Vertikaldrucks auf die Unterseite der äußeren Tragfläche. Je größer nun die Neigung in der Kurve ist, desto größer wird der Druck. Bei den sehr großen Tragflächen der Riesenflugzeuge würde dies zu einer Kraftbeanspruchung führen, der die Konstruktion nicht gewachsen ist. Durch das Schiebenlassen der Maschine wird diese Kraftkomponente wesentlich herabgesetzt. Die richtig geflogene Kurve im Riesenflugzeug würde also nicht der Nullstellung des Pendels entsprechen.

Dazu kommt noch eine andere Überlegung. Selbst bei kleinen Flugzeugen ist es für den Piloten keineswegs dasselbe, ob er in horizontalem Geradeausflug oder in der richtig geneigten Kurve liegt, welche beiden Fälle vom Pendel nicht unterschieden werden können. Gesetzt den Fall, der Pilot befinde sich in einer Wolke, die er geradlinig durchfliegen will, so würde eine geringe Seitensteuerbetätigung unter Umständen den Eindruck hervorrufen können, als wäre die Verwindung falsch bedient; mit anderen Worten: der Pilot hat kein Mittel, um festzustellen, ob die Verwindung oder das Seitensteuer bedient werden müssen, um die Flugzeugebene horizontal zu legen. Deshalb ist ein absoluter Neigungsmesser, wenn auch nicht so sehr aus flugtechnischen Gründen, als vielmehr aus Gründen der Navigation erstrebenswert. In dem oben erwähnten Fall des Nebelflugs hat nun der Pilot die Möglichkeit, mit Hilfe des Kompasses eine Entscheidung über die aufgeworfene Frage herbeizuführen. Man kann das so ausdrücken, daß die Winkelgeschwindigkeit des Kompasses ein Maß für die Betätigung des Seitensteuers ist. Legt man nun einen relativen Neigungsmesser mit einem Kompaß zusammen, so hat man in dieser Vereinigung eine Art von absolutem Neigungsmesser. Die Vorschrift lautet alsdann: Steuere Kurs mit Kompaß und Verwindung mit Querneigungsmesser. Fügt man noch einen Staudruckfahrtmesser hinzu, so ist man auch über die Längslage hinreichend orientiert. Durch eine geeignete Ausführung dieser Kombination wäre tatsächlich die Frage für kleine Flugzeuge völlig gelöst. Bei großen Flugzeugen dagegen, die normalerweise eine recht große Zeitdauer zur Ausführung von Kurven benötigen und somit kleine Winkelgeschwindigkeiten besitzen, ist die Winkelgeschwindigkeit des Kompasses so klein, daß die Abweichung erst nach längerer Zeit bemerkbar wird. Man könnte daran denken, etwa den Kompaß durch eine Übersetzung empfindlicher zu machen. Solche Versuche liegen auch vor. Sie haben jedoch nicht den erwarteten Erfolg gezeitigt, da die normalen Schwingungen der Kompaßnadel an sich schon so groß sind, daß ein solcher

empfindlich gemachter Kompaß überhaupt nicht mehr ablesbar wäre. Aus diesem Grunde war, namentlich für Riesenflugzeuge, das Neigungsmesserproblem auf die angegebene Art noch nicht gelöst.

b) Absolute Neigungsmessung.

Der absolute Neigungsmesser, der sich auf die Horizontalebene als Bezugssystem bezieht, kann auf zweierlei Weise in Angriff genommen werden. Einmal unter Zuhilfenahme des Kreiselprinzips und weiter durch Vermittlung des magnetischen Erdfeldes. Auf dem Gebiet des Kreisels sind viele eingehende Arbeiten veröffentlicht worden, und es kann hier nur auf die Sonderliteratur[1]) hingewiesen werden. Das bisherige Ergebnis dieser Versuche ist folgendes: Wird der Kreisel in der Weise verwandt, daß seine Ebene dauernd in der Horizontalebene verbleibt, so ist es in der Praxis bisher nicht möglich gewesen, ein Gerät herzustellen, daß diesen Anforderungen auch bei stärkeren oder lang andauernden schwächeren Kurven restlos genügt. Wollte man nämlich einen indifferenten Kreisel verwenden, so ist die Ebene zwar konstant aber unbestimmbar. Benutzt man aber ein Kreiselpendel, so wird sich die Pendelwirkung immer bemerkbar machen. Immerhin haben nach diesem Prinzip hergestellte Geräte eine beschränkte Brauchbarkeit erwiesen (Anschütz). Wir kommen darauf zurück. Wird jedoch der Kreisel in der Weise benutzt, daß Wendungen des Flugzeugs Kräfte auf die Kreiselachse ausüben, so sind die dabei auftretenden Reaktionskräfte durchaus geeignet, eine Messung der vorhandenen Winkelgeschwindigkeiten zu gestatten. Man muß sich jedoch dabei klar werden, daß derartige Instrumente nicht mehr Richtungen im Raume, sondern Richtungsänderungen angeben. Wie wir aber oben sahen, benötigten wir gerade die Winkelgeschwindigkeit (etwa eines Kompasses), um aus ihr in Verbindung mit einem relativen Neigungsmesser eine Absolutmessung zu gewinnen. Auf diesem Gedanken ist nun der bislang allein erfolgreiche absolute Neigungsmesser, nämlich der Drechsler-Steuerzeiger, aufgebaut. Das Wesentliche ist dabei, daß die Anzeige nicht durch den Kreisel allein erfolgt, sondern erst in äußerer Verbindung mit einem Pendel möglich wird.

Die Messung der Winkelgeschwindigkeit kann endlich auch noch aus dem magnetischen Erdfelde direkt erfolgen. Stellt man sich am Flugzeug ein Solenoid befestigt vor, so werden bei jeder Drehung Kraftlinien geschnitten, wodurch ein meßbarer Strom im Solenoid hervorgerufen wird, der eine Funktion der Winkelgeschwindigkeit und der absoluten Richtung ist. So erwünscht das erstere ist, so störend ist das letztere. Trotzdem wäre es nicht ausgeschlossen, auch auf diesem Wege ein Instrument zu konstruieren, das die Winkelgeschwindigkeit zu messen erlaubt. Theoretische Betrachtungen haben ergeben, daß durch Kombination dreier Solenoide sehr wohl eine absolute Neigungsmessung ausgeführt werden kann. Die Schwierigkeit liegt jedoch in der Deutung der Anzeigen. Es dürfte nämlich kaum gelingen, die drei gegebenen Komponenten in einem Anzeigeinstrument so zu vereinigen, daß bei dem Beschauer eine instinktive Vorstellung von der jeweiligen Lage des Flugzeugs hervorgerufen wird.

[1]) Siehe das Kapitel „Kompasse“ (S. 155).

All die vielen Versuche, einen absoluten Neigungsmesser rein mechanisch und ohne Verwendung des Kreisels auszuführen, müssen als fehlgeschlagen gelten. Ganz zu schweigen ist von den Bestrebungen, Schwimmkörper durch Formgebung so zu gestalten, daß sie von der Kurvenbeschleunigung unabhängig werden; diese Ideen sind gleichwertig mit denen des Perpetuum mobile. Die einzige erörterungswerte Möglichkeit, zu einem Ergebnis zu gelangen, beruht darin,, daß man nicht die Richtung der resultierenden Beschleunigungen zu bestimmen sucht, sondern deren Größe; da diese die Vektorsumme der Erd- und Tangentialbeschleunigung ist, und die erstere als konstant angesehen werden darf, kann man aus dieser Messung auf letztere und damit zugleich auf die Winkelgeschwindigkeit schließen. Diese Messung könnte durch irgendeine Federwage oder ein anderes Hilfsmittel erfolgen, das der Gravitationskraft eine andere Kraft elastischer, elektrischer oder magnetischer Art entgegensetzt. Auf diesem Gebiet wurden verschiedene Versuche gemacht. Da es sich dabei um sehr kleine Änderungen der Beschleunigung handelt, wird von dem Instrument eine große Empfindlichkeit gefordert. Nun ist das Flugzeug häufig starken Beschleunigungen ausgesetzt, sei es durch Stöße des Motors, sei es durch Böen. Diese überdecken die zu messende Größe derart, daß sie nicht einwandfrei abzulesen ist; auch würden Start und Landung solche empfindlichen Wagen einfach zerstören. Als Hauptfehler kommt aber noch in Betracht, daß selbst, wenn ein solches Gerät herstellbar wäre, eine Unterscheidung von Rechts- und Linkskurven unmöglich ist, da in beiden Fällen die Tangentialbeschleunigungen als positive auftreten. Die Versuche wurden aus diesem Grunde als aussichtslos abgebrochen.

Endlich sei noch als Kuriosum eine Lösung angegeben, die die Messung der Winkelgeschwindigkeit wenigstens qualitativ gestattet. Ein feiner Flüssigkeitsstrahl trete mit konstanter Geschwindigkeit aus einer feinen Öffnung in horizontaler Lage parallel zur Flugzeugachse entgegen der Flugrichtung heraus und treffe gegen eine vertikale Glasscheibe, die mit einer ebensolchen Skala versehen ist. Beim Geradeausflug wird die Mittellinie der Skala von dem Strahl getroffen. Bei einer Schiebekurve nach links wird der Strahl nach links vom Beschauer abgebogen und zeigt einen der Winkelgeschwindigkeit annähernd proportionalen Ausschlag; ein Pendel schlägt gleichzeitig nach rechts aus. Hängt das Flugzeug dagegen links im Geradeausflug, so weichen beide Instrumente nach links ab. Durch Kombination beider Anzeigen läßt sich also etwas über die absolute Lage aussagen. Die Durchbildung dieses Gedankens führt zu verschiedenen Lösungen; doch ist man bisher der Ausführung noch nicht nähergetreten. Tatsächlich steckt in diesem Gerät das Kreiselprinzip, wenn auch in sehr veränderter Form.

c) Aerodynamische Neigungsmessung.

Mit den hier aufgeführten Methoden zur Neigungsmessung ist das Gebiet aber noch keineswegs erschöpft. Neben den relativen Messern (Pendeln) und den absoluten (Kreiseln) sind endlich noch solche Geräte zu erwähnen, die sich nicht auf das Bezugssystem der resultierenden oder der Erdbeschleunigung beziehen, sondern auf das aerodynamische Feld der umgebenden Luftschicht. Diese Instrumente verdienen in theoretischer Beziehung sogar den Vorzug, da sie mit der Eigenart

des Flugzustandes viel unmittelbarer verwandt sind als erstere, die ein dem Fluge fremdes Element hineintragen. Wenn wir auf den Vogel als den Lehrmeister des Kunstflugs zurückgehen, so werden wir bei ihm kaum Hilfsmittel wie Pendel und Kreisel als vorhanden annehmen dürfen; lediglich können wir ein auf Beschleunigungen wirkendes Organ vermuten, wie es auch dem menschlichen Gehirn zu eigen ist. Viel wichtiger aber sind die in den Flügelenden befindlichen Tastorgane, die über die auftretenden aerodynamischen Drucke Rechenschaft geben. Solche Einrichtungen können wir nun im Flugzeug unschwer nachahmen, wozu wir die an anderer Stelle (S. 206) beschriebenen Fahrtmesser benutzen können.

Denken wir uns die beiden Flügelenden des Flugzeugs mit zwei gleichen Fahrtmessern versehen, so werden sich bei normalem Fluge die Anzeigen beider decken, vorausgesetzt, daß die umgebende Luft frei von ungleichmäßigen Strömungen ist. Treten jedoch solche etwa in Form von Wirbeln auf, so zeigen sich Abweichungen in den Anzeigen. Sucht nun der Pilot diese durch Steuerbewegungen auszugleichen, so wird er zwar seinen geradlinigen Kurs in gewissem Grade aufgeben müssen, andererseits aber sich den Störungen der Atmosphäre aufs beste anpassen. Hierin liegt aber das ganze Geheimnis des Kunstflugs, dessen volle Erkenntnis zu einer neuen Epoche der Fliegerei führen dürfte. Auf diesen wichtigen Punkt glauben wir etwas ausführlicher eingehen zu müssen.

Ein Vergleich! Der große Ozeandampfer hat es nicht nötig, sich um die Meereswellen zu bekümmern; ungestört folgt er dem Kompaßkurs. Anders das kleine Boot; notgedrungen muß es sich dem Zuge der Wellen anpassen, wenn es nicht kentern will. Ganz dasselbe gilt in der Fliegerei. Das Großflugzeug mit seiner überschüssigen Pferdekraft zieht unbekümmert um Böen und Strömungen seinen Weg; es benötigt keinerlei Vorrichtungen zu deren Messung. Tritt jedoch erst einmal der ökonomische Gesichtspunkt mehr in den Vordergrund, wie es gar nicht ausbleiben kann, stellen wir also mit anderen Worten die Bedingung einer Reduktion der verfügbaren Pferdestärken auf das äußerste Maß, so werden wir den Verlust der Sicherheit, die bislang im Kraftüberschuß lag, durch etwas anderes ersetzen müssen. Und dieses andere ist der Kunstflug, d. h. die Fähigkeit, den Flug seinem Medium und seinen Besonderheiten anzupassen. Dazu dienen in erster Linie die hier erwähnten Geräte, sobald sie einmal durchgebildet sind.

Aber noch in anderer Hinsicht dürften sie Wert besitzen. Wenn vielleicht auch der erfahrene Pilot ihrer Hilfe nicht mehr bedarf, weil ihm allmählich der Instinkt des Vogels in Fleisch und Blut übergegangen ist, so wird der Anfänger in ihnen ein zuverlässiges Mittel zum Erlernen dieser Kunst besitzen; der Staudruckneigungsmesser wird also in erster Hinsicht ein wichtiges Lehrgerät werden; aus diesem Grunde sollte keine Mühe gescheut werden, Versuche auf diesem noch wenig bearbeiteten Gebiete anzustellen. Die hohe Schule des Fliegers der Zukunft beginnt und endet mit der restlosen Aneignung des Vogelinstinkts, und dessen bestes Lehrmittel ist das Studium des Fahrtmessers in seinen verschiedenen Funktionen.

Neuere Literatur: K. Bennewitz, Techn. Ber. d. Flugzm. III Heft 5.

Wir wenden uns nunmehr zur Betrachtung der einzelnen Typen von Neigungsmessern.

2. Relative Neigungsmesser.

a) Pendel.

Das gewöhnliche Pendel, dargestellt etwa durch eine an einem Faden befestigte Kugel, ist als Neigungsmesser nicht gut verwendbar, da es im Fluge kaum zur

Abb. 162. Schwimmpendel (Bamberg).

Ruhe kommt. Auch die Idee, es in einem dämpfenden Medium, einer Flüssigkeit, unterzubringen, hat zu keiner brauchbaren Form geführt, weil die Beobachtung der in zwei Dimensionen erfolgenden Schwingungen erschwert ist. Etwas günstiger gestaltet sich die Sache, wenn man die Vorrichtung umkehrt, dadurch, daß man das Pendel etwa als Hohlkörper in einer Flüssigkeit schwimmen läßt. Ein derartiges, von der Firma Bamberg ausgeführtes Modell (Abb. 162) weist einen im Mittelpunkt eines flachen Bodens an einem Stabe oder Faden befestigten Schwimmkörper auf, der unter einer mit Gradstrichen versehenen Glasglocke in einer geeigneten Flüssigkeit spielt. Die Einstellgeschwindigkeit und die Dämpfung sind völlig ausreichend; aber einen anderen Nachteil besitzen diese Formen: die Anzeigen sind vertauscht; einem Rechtshängen z. B. entspricht ein Linksausschlag. Erfahrungsgemäß bedarf es einer gewissen Schulung, die Anzeige richtig auszuwerten, was gerade bei diesem Instrument unerwünscht ist. Deshalb und wegen der schlechten Sichtbarkeit ist diese Form auch fallengelassen.

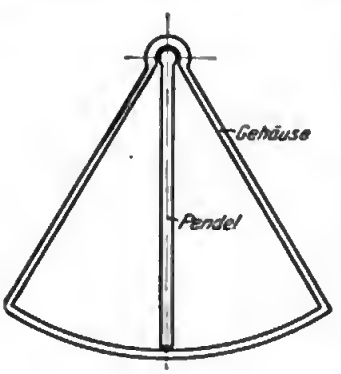


Abb. 163.
Pendel mit Luftdämpfung.

Beschränkt man sich auf eine einzige Komponente der Neigung, so kann man das Pendel leicht mit einer hinreichenden Luftdämpfung versehen (Abb. 163). Das in einem segmentförmigen Kasten schwingende Pendel schließt eng an die Wände

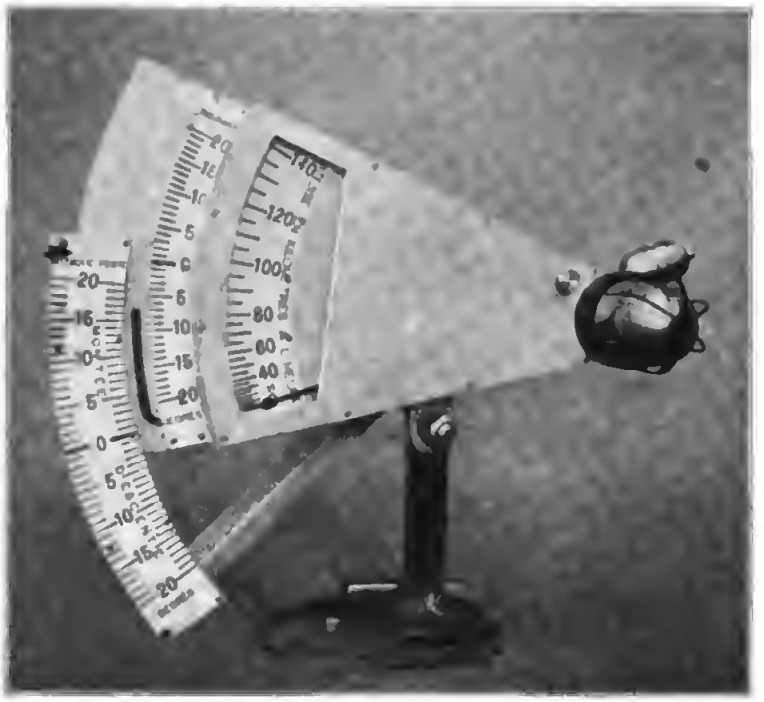


Abb. 164.
Pendelneigungsmesser, kombiniert mit Fahrtmesser (französisch).

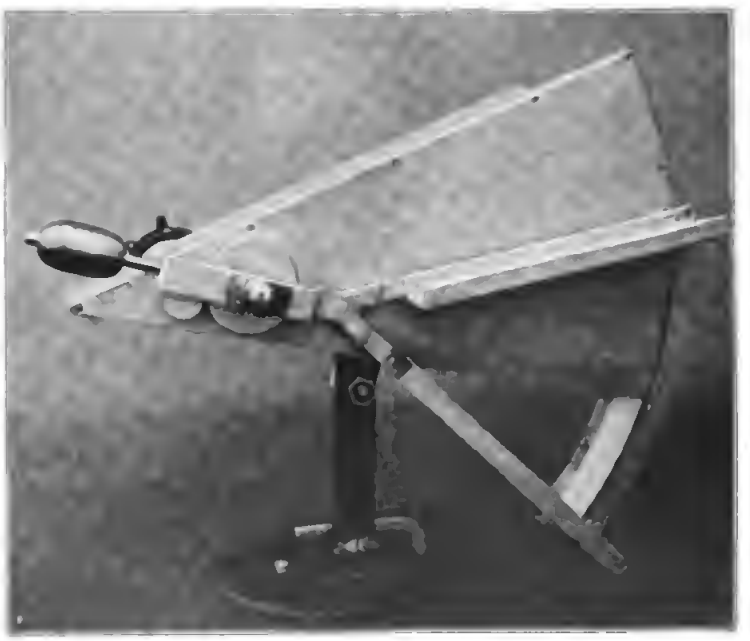


Abb. 165.
Pendelneigungsmesser (Rückseite).

und bildet zwei Luftkammern; diese Form ist zwar brauchbar, wird aber durch später zu besprechende an Wohlfeilheit und Zuverlässigkeit übertroffen, da es gegen Hängenbleiben schwer zu sichern ist.

Versuche unserer Gegner, die Anzeige dadurch umzukehren, daß man das Pendel selber mit einer Skala versieht (Abb. 164 und 165), die hinter einer festen Marke schwingt, verfallen dem schon öfters gerügten Fehler, daß das einfache Erfassen eines richtunggebenden Zeigers durch das viel indirektere Zahlenablesen ersetzt wird; sie sind deshalb zu verwerfen; auch ist das Problem der Dämpfung nicht gelöst.

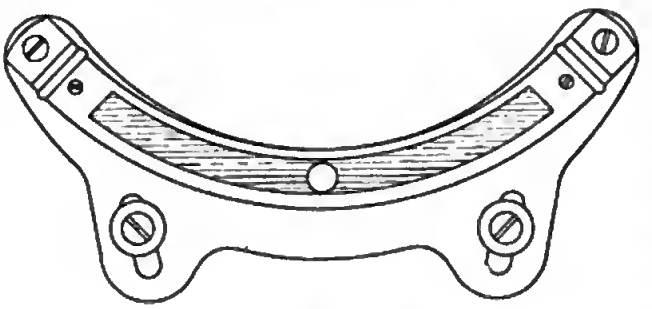


Abb. 166. Neigungsmesser (Fueß).

Die zweckentsprechendste Form ist eine von der Firma Fueß angegebene (Abb. 166). Sie besteht aus einer konvex nach unten gebogenen Glasröhre, die eine in einer Flüssigkeit rollende Kugel enthält; auf der Röhre befindet sich eine Nullmarke und einige Gradstriche. Die Wirkung ist, da sie im richtigen Sinne erfolgt, instinktmäßig sehr leicht faßbar und kann kaum zu Irrtümern verleiten. Die Einstellung erfolgt bei geeigneter Wahl des Lumens (Querschnitts) schnell genug und ist genügend gedämpft. Polierte Stahlkugeln haben sich bewährt, doch sind rostbildende Flüssigkeiten zu vermeiden. Es ist zu wünschen, daß diese Form allgemein Eingang findet.

b) Libellen.

Wesentlich unterlegen sind zwei andere viel in Gebrauch befindliche Formen. Die erstere (Wasserwage) besteht aus einer konkav nach unten gebogenen Glasröhre (Abb. 167), die eine Flüssigkeit enthält; die Anzeige erfolgt durch eine Luftblase, und zwar seitenvertauscht, und führt deshalb leicht zu Irrtümern; dann aber ändert die Luftblase infolge der Wärmeausdehnung der Flüssigkeit ihre Größe, was die Ablesung erschwert. So geeignet diese Form als Wasserwage für die verschiedensten Zwecke ist, so ungeeignet ist sie als Neigungsmesser für das Flugzeug, namentlich auch schon deswegen, weil die Luftblase schwer erkennbar ist. Diesen letzteren Fehler hat man einmal durch Verwendung gefärbter Flüssigkeiten, dann durch Anbringung farbiger Streifen im Glasrohr zu vermeiden gesucht, ohne damit wesentliche Fortschritte zu erreichen; einzig die Benutzung flachgedrückter (hochkantovaler) Glasrohre erwies sich als brauchbar.

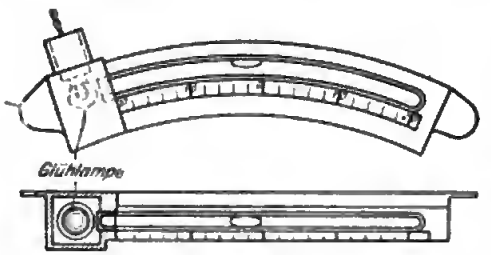


Abb. 167. Libelle als Neigungsmesser.

Eine eigenartige Lösung der Nachtbeleuchtung letztgenannter Geräte sei noch

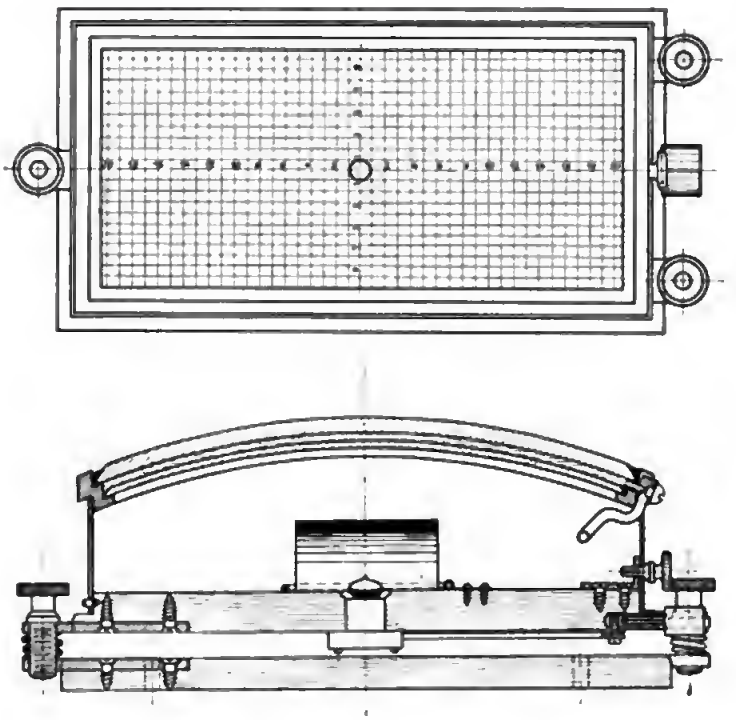


Abb. 168.
Libelle für Luftschiffe (Ges. für Nautische Instrum.).

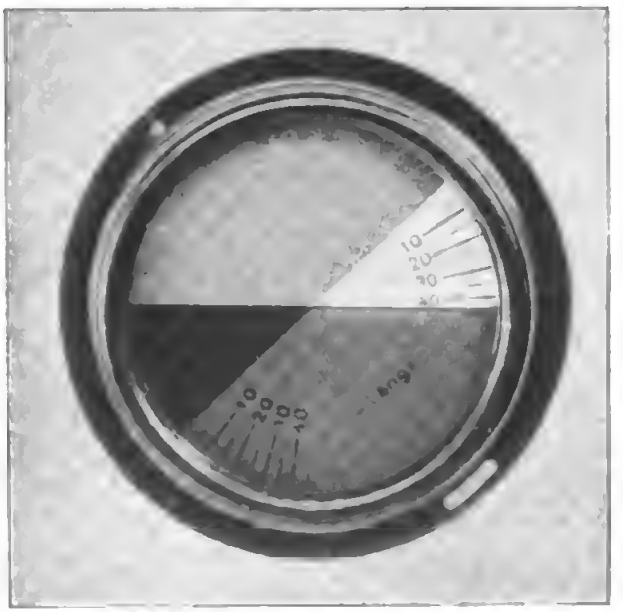


Abb. 169.
Neigungsmesser (Goerz).

besonders erwähnt (Dr. Wolff). Die Lichtquelle befindet sich an einer Schmalseite der Glasröhre (Abb. 167), die Strahlen treten durch die Flüssigkeit, ohne sie zu erhellen, lediglich die Luftblase erscheint als ein leuchtender Fleck. Dieselbe Art der Beleuchtung kann auch bei der ersterwähnten Form mit Kugel benutzt werden.

Auch die gewöhnliche Libelle ist verwandt worden; sie vereinigt Längs- und Querneigungsmesser. Ihre vollkommenste Form, die jedoch wohl ausschließlich für Luftschiffe, allenfalls für R.-Flugzeuge in Frage kommt, ist in Abb. 168 dargestellt.

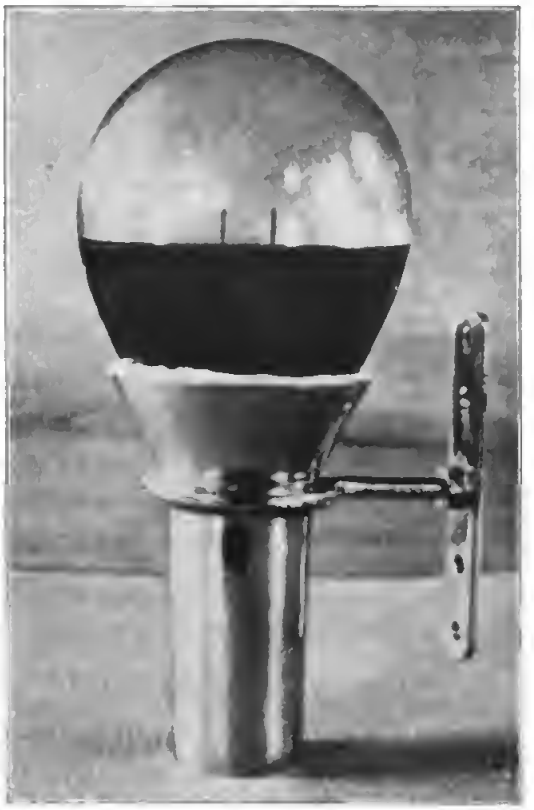


Abb. 170. Flüssigkeitsspiegel als Neigungsmesser.

Eine weitere, vielfach benutzte Form eines Neigungsmessers stammt von der Firma Goerz (Abb. 169). Sie besteht aus zwei kreisförmigen Glasscheiben, die durch einen Dichtungsring getrennt aufeinander gelegt sind; der Hohlraum ist zur Hälfte mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt. Das auf der hinteren Seite befindliche Schaublatt ist durch eine Horizontale in eine obere gefärbte und eine untere weiße Hälfte geteilt, deren letztere im normalen Zustande von der Flüssigkeit verdeckt wird. Bei Neigungen erscheinen sehr sinnfällig weiße Segmente, leider jedoch vertauscht. Das entsprechende Gerät für beide Komponenten (Abb. 170) ist so gut wie unbrauchbar.

c) U-Rohre.

Es liegt nahe, zur Neigungsmessung kommunizierende Rohre zu verwenden (z. B. Abb. 171). Das gewöhnliche U-Rohr besitzt wieder die unerwünschte Eigen-

schaft der vertauschten Anzeige; außerdem bedingt das Verlangen nach einem möglichst großen Ausschlag eine erhebliche Auseinanderlegung der beiden Schenkel, so daß der unmittelbare Vergleich beider Schenkelhöhen erschwert ist. Dies läßt sich auf verschiedene Weise umgehen. So benutzt man zwei Flüssigkeiten von sehr verschiedenem spez. Gewicht, Quecksilber und Alkohol; ersteres bildet die Füllung des eigentlichen U-Rohrs; letzteres dient dazu, die Meniskenstellungen des Quecksilbers nach Stellen zu verlegen, wo sie gut vergleichbar und gleichzeitig vertauscht

Abb. 171.
Neigungsmesser „Kromer".

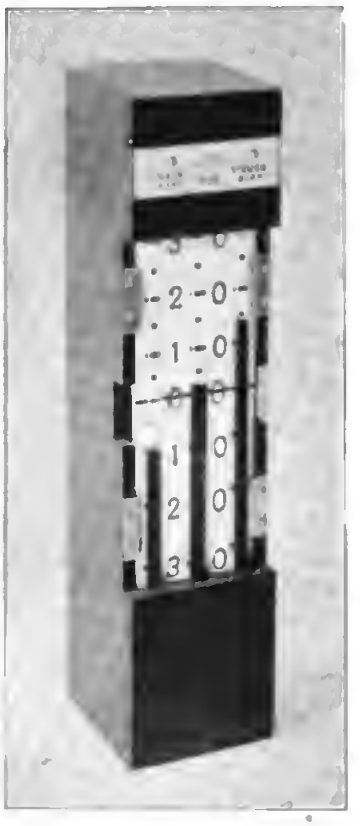


Abb. 173.
Neigungsmesser nach Dr. Neuber.

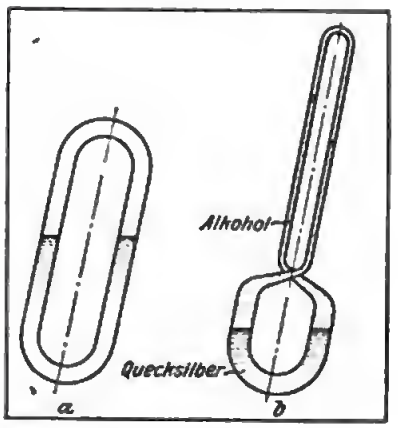


Abb. 172. a) gewöhnliches U-Rohr;
b) U-Rohr nach Dr. Neuber.

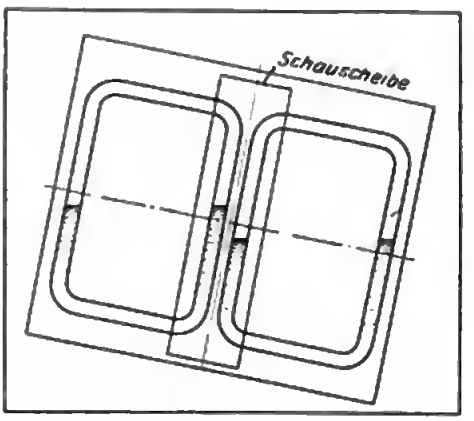


Abb. 174.
Neigungsmesser (Weise).

werden (siehe Abb. 172, nach Dr. Neuber). Durch geeignete Volumengebung läßt sich der Ausschlag beliebig erweitern. Diese Form ist bei Großflugzeugen vielfach in Gebrauch, da sie sehr empfindlich ist. Ein Nachteil liegt in dem Auftreten eingeschlossener Bläschen. In Kombination von Längs- und Quermesser wie Abb. 173 wirken sie leicht verwirrend.

Ein weiteres Mittel zur Seitenvertauschung und engen Lagerung der Menisken liegt in der Verwendung zweier nebeneinander angebrachter U-Rohre (Abb. 174), deren äußere Schenkel verdeckt werden; diese Lösung zeichnet sich durch Einfachheit aus und kann auch beliebig empfindlich gemacht werden. Auf alle die vielen Versuche einzugehen, mit Hilfe von Formgebung und Lumenveränderung die Ausschlaggröße und Dämpfung zu regulieren, würde hier zu weit führen.

3. Absolute Neigungsmesser.

a) Kreiselgeräte.

Auf das Thema des Kreisels als Neigungsmesser auch nur halbwegs erschöpfend einzugehen, müssen wir leider verzichten, da sich dieses Gebiet bereits zu einer ganzen Wissenschaft ausgewachsen hat. Es soll nur auf die hauptsächlichsten Arbeiten hierüber hingewiesen werden.

Literatur: R. Grammel, Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt **10**, 1—12, 125 (1919); O. Martienssen, Elektrotechn. Zeitschr. **34** (1911); A. Keller, Prometheus **31** (1919), Zeitschr. f. Instrkde. 1919 (siehe auch S. 155).

Im folgenden wollen wir die wichtigsten Gesichtspunkte kurz zusammenfassen.

α. Der Fliegerhorizont von Anschütz.

Dies Instrument ist bisher das einzige deutsche Kreiselgerät im engeren Sinne, das einer eingehenden Prüfung im Flugzeug in gewissen Grenzen standgehalten hat. Über die Konstruktionsdetails geben die von der Firma Anschütz selbst bearbeiteten Beschreibungen Auskunft. Es stellt eine Vereinigung eines Kreiselpendels mit einem gewöhnlichen Pendel dar. Ersterer betätigt (Abb. 175) eine das feste Schaubild *a* (Flugzeugaufriß) zur Hälfte überdeckende Scheibe *b*; letzterer besteht aus einem halbkreisförmigen Flüssigkeitsrohr *c*. Der Kreisel und die sonst noch vorhandenen Zusatzelemente (Luftdüsen, Schlingertank) zur Dämpfung der Präzession sind in den Abb. 176 dargestellt; der Antrieb erfolgt durch besonderen Generator von 333 Perioden Drehstrom. Die normale Schwingungszeit des Kreiselpendels beträgt etwa 14 Minuten, die des gewöhnlichen Pendels Bruchteile einer Sekunde. In dem Verhältnis (oder besser der Differenz) dieser beiden Größen liegt das Kriterium für die Brauchbarkeit des Geräts. Es ist nämlich klar, daß ein Kreiselpendel letzten Grundes sich von einem gewöhnlichen Pendel lediglich durch seine größere Schwingungsdauer unterscheidet; jedenfalls

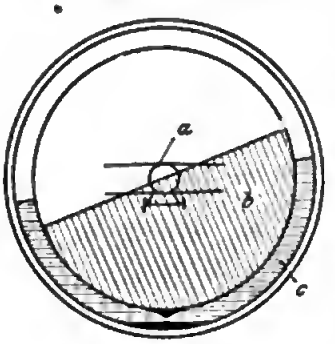


Abb. 175. Schaubild des Fliegerhorizonts (Anschütz).

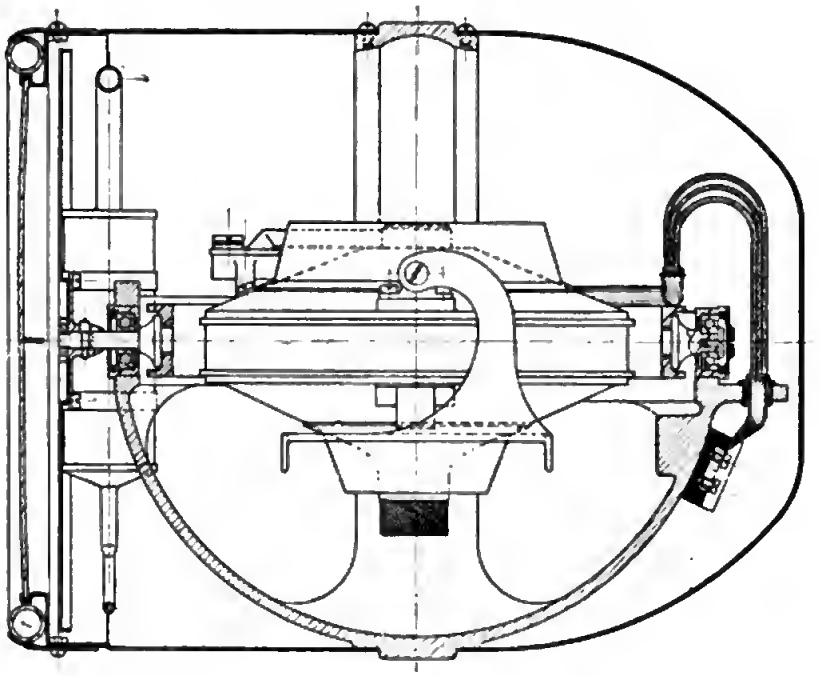


Abb. 176a. Fliegerhorizont, Seitensicht (Anschütz).

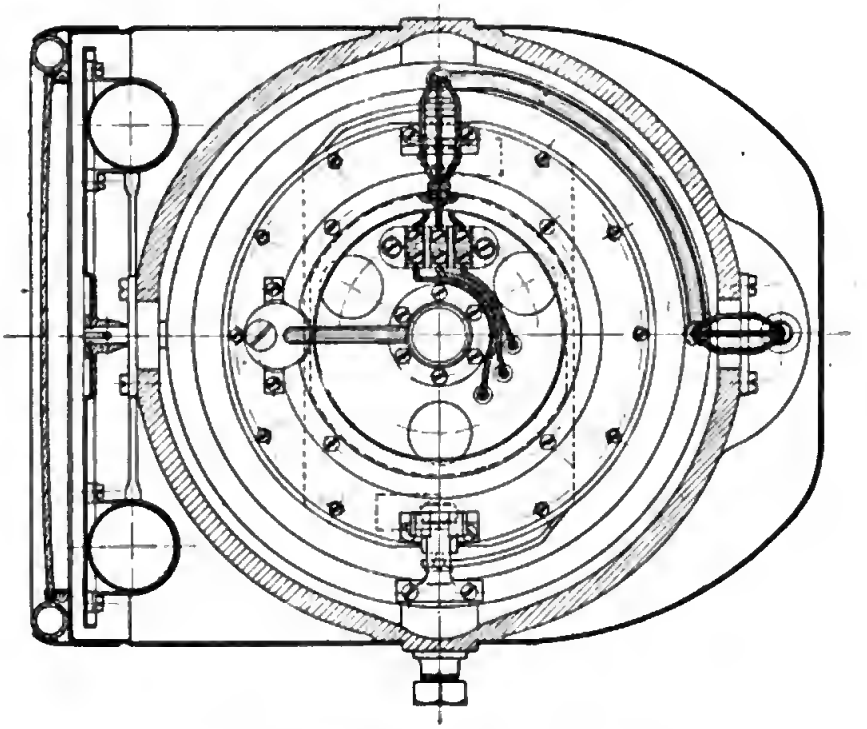


Abb. 176b. Fliegerhorizont, Aufsicht (Anschütz).

ist seine Anzeige keineswegs „absoluter". Hieran ändern zusätzliche Einrichtungen nicht das mindeste. Streng genommen ist also ein Kreiselpendel niemals ein

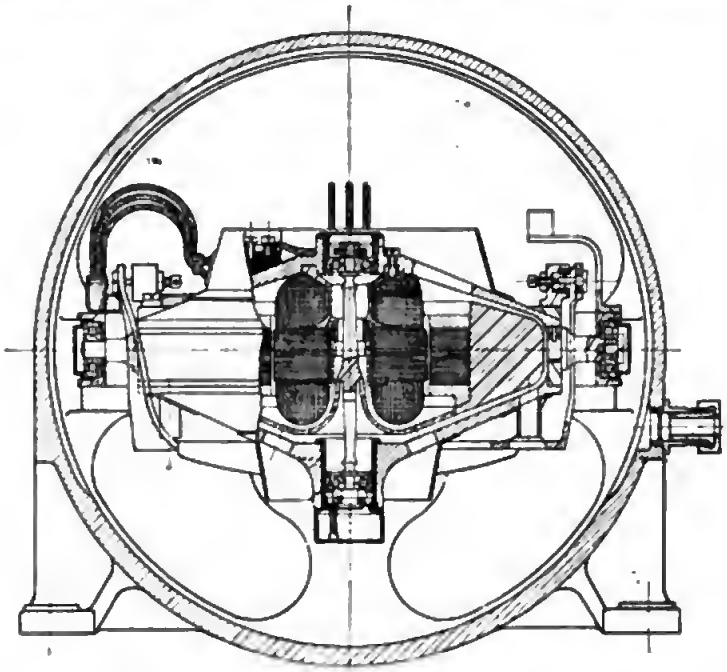


Abb. 176c. Fliegerhorizont, Querschnitt (Anschütz).

Abb. 177. Neigungsmesser mit Kreiselpendel.

„absoluter" Neigungsmesser, wohl aber kann es einen solchen ersetzen, wenn man gewisse zeitliche Zugeständnisse macht. Nimmt man erstens einseitige Richtungsänderungen des Fluges (in allen Komponenten) von einer zeitlichen Größen-

ordnung an, die klein gegen 14 Minuten ist, und setzt man weiter voraus, daß alle Änderungen nach den Gesetzen des Zufalls verlaufen, so daß für die Abweichungen während 14 Minuten bereits das Gesetz der großen Zahlen gilt, so folgt, daß diese Abweichungen aus der Anzeige eines wie oben beschaffenen Kreiselpendels herausfallen. In diesem Falle ersetzt er also einen absoluten Neigungsmesser. Die beiden Voraussetzungen sind nun aber keineswegs immer erfüllt. Jede auch schwache Kurve längerer Dauer, wie sie erfahrungsgemäß im Fluge ohne Kompaßbenutzung oder direkte Orientierung immer vorkommt, gibt dem Kreiselpendel nach einiger Zeit eine neue Nullage. Die Brauchbarkeit des Fliegerhorizonts ist also an die Erfüllung obiger beiden Einschränkungen geknüpft, für die eine Bürgschaft nicht ohne weiteres gegeben ist. Die praktischen Versuche haben denn auch in diesem Sinne entschieden. Verschmäht man jedoch die gleichzeitige Benutzung eines Kompasses nicht, so ist man der erwähnten Bedenken in weitem Maße enthoben. Der Fliegerhorizont stellt also wohl noch nicht den Idealtyp des absoluten Neigungsmessers dar, kann aber bei richtigem Gebrauch wertvolle Dienste leisten.

An Stelle des Kreiselpendels indifferente Kreisel zu verwenden, ist bis auf ein später erwähntes Modell bisher völlig gescheitert; in theoretischer Hinsicht sind sie bereits aus dem Umstande zu verwerfen, weil die Erddrehung sie zu Deklinationskreiseln, d. h. zu Kompassen machen müßte, womit sie ihre Eigenschaft als Neigungsmesser einbüßten. Instrumente von der Art der Abb. 177 endlich sind gänzlich unbrauchbar, worauf wir später noch zurückkommen werden.

β. Kreiselneigungsmesser der Gesellschaft für nautische Instrumente.

Eine nicht uninteressante Idee, den indifferenten Kreisel trotz der gemachten Einwände zu benutzen, stellt Abb. 178 dar. Sie geht von der Annahme aus, daß die Sicht dem Flieger immer nur auf kürzere Zeit entzogen ist, wie es etwa bei Wolkenflügen eintritt. Der Hauptteil besteht aus einem durch Uhrwerk (Feder, *a*) betriebenen, indifferenten Kreisel *b*, der durch einen geführten Stempel *c* für gewöhnlich in seiner Ruhelage gehalten wird. Beim Schwinden der Sicht wird der Stempel durch einen Hebel *d* gelöst und der Kreisel beginnt zu rotieren. Die geringe Energie vermag den Kreisel und das Anzeigesystem eine kürzere Zeit in

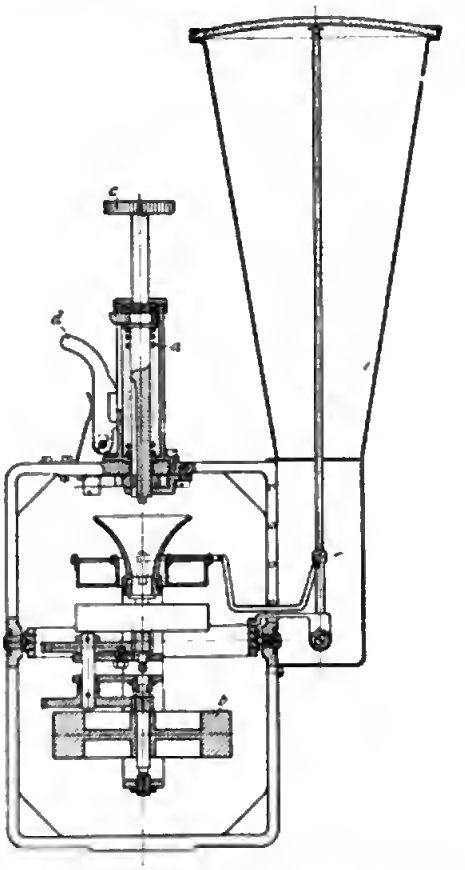


Abb. 178. Kreiselneigungsmesser (Ges. für Nautische Instrum.).

seiner Normallage zu erhalten; eine Änderung der Flugzeugneigung wird sich also währenddessen bemerkbar machen. Für weiteren Gebrauch muß das Uhrwerk wieder aufgezogen werden. Wir haben es also mit einem Behelfsgerät zu tun, das aber trotzdem einen brauchbaren Kern enthält, der sich vielleicht noch entwickeln ließe.

γ. Kreiselneigungsmesser mit Luftantrieb.

Abgesehen von den hier in den Vordergrund gestellten Fragen physikalischer Natur stellt natürlich das Problem des schnellrotierenden Kreisels auch bezüglich seines Antriebs äußerst schwierige Aufgaben. An Stelle des Drehstroms hat man deshalb versuchsweise den Flugwind zu verwenden gesucht. Derartige Turbinen wurden zuerst in Frankreich gebaut (Garnierkreisel, siehe z. B. Aerial Age Weekly **10**, 634 [1920]). Es sind einfache handliche Geräte, die aber mit allerhand Fehlern behaftet sind, so daß sie auf Genauigkeit keinen Anspruch machen können. Neuerdings hat die „Signal" G. m. b. H. Kiel ähnliche Versuche aufgenommen, die jedoch noch nicht zum Abschluß gekommen sind.

δ. Mehrfachkreisel-Neigungsmesser.

Um die Präzession zu vermeiden, hat man auch versucht, mehrere Kreisel in verschiedenen Lagen zu kombinieren. In oben genannter Literatur ist mehrfach darauf Bezug genommen. Sachlich sind die Erwägungen häufig richtig; bietet aber schon die Installation eines Kreisels Schwierigkeiten, so stellt die Vereinigung mehrerer solcher technisch kaum zu bewältigende Aufgaben. Ein im Versuch brauchbares Modell ist wohl noch nicht geschaffen worden.

ε. Der „Steuerzeiger" von Drexler.

Der Verzicht auf dauernde Festlegung einer bevorzugten Ebene (Horizontalebene) und die Ausnutzung der am Kreisel auftretenden Reaktionskräfte führt zu einer Umgehung der oben angedeuteten Schwierigkeiten und zu einem vollwertigen Ersatz eines absoluten Neigungsmessers. Dieser Weg ist beim Drexlerschen Steuerzeiger mit Erfolg beschritten worden. Am einfachsten läßt sich das Prinzip aus der Abb. 179 erläutern.

Ein Kreisel mit der horizontalen Achse AB ist in einem Ringe gelagert, der um die Achse CD drehbar ist. Diese letztere Drehung erfolgt jedoch nicht frei, sondern ist durch die Feder F gehemmt, die den Ring in seine horizontale Ruhelage zu ziehen bestrebt ist. Einer Neigung des tragenden Gestells um eine Achse AB steht nichts im Wege; eine Neigung um die Achse CD bewirkt mit Hilfe der Feder ein zwangsweises Mitgehen des Ringes; beide Bewegungen machen sich also am inneren System nicht bemerkbar. Anders eine Drehung um die Vertikalachse, wobei die Achse AB mitgenommen wird; wie sich aus der Theorie des Kreisels ergibt, treten alsdann zur Drehrichtung senkrechte Kräfte auf, die im Sinne einer Drehung um die Achse CD wirken; diese sind imstande, die Federspannung bis zu einem gewissen Grade zu überwinden und bilden ein Maß für die primäre Drehgeschwindigkeit (um die Vertikalachse). Die Deformation der Feder wird durch einen Zeiger auf eine Skala übertragen und zeigt daselbst die Winkelgeschwindig-

keit an, mit der das Flugzeug in der Horizontalebene nach rechts oder links dreht. Die Anzeige (α) ist mathematisch also gleichbedeutend mit der zeitlichen Ände-

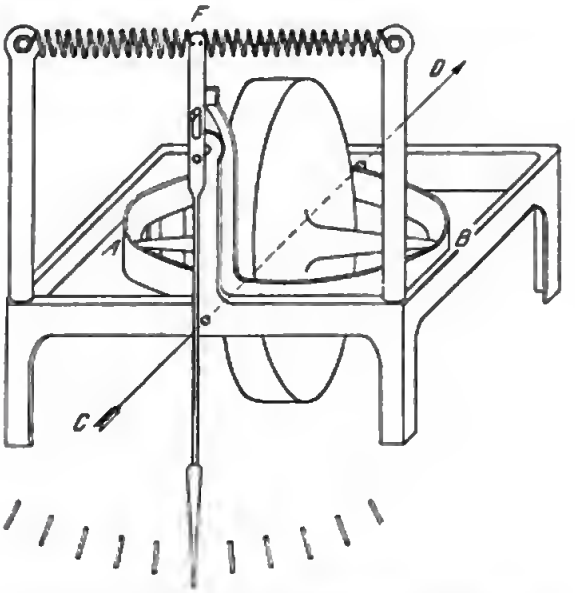
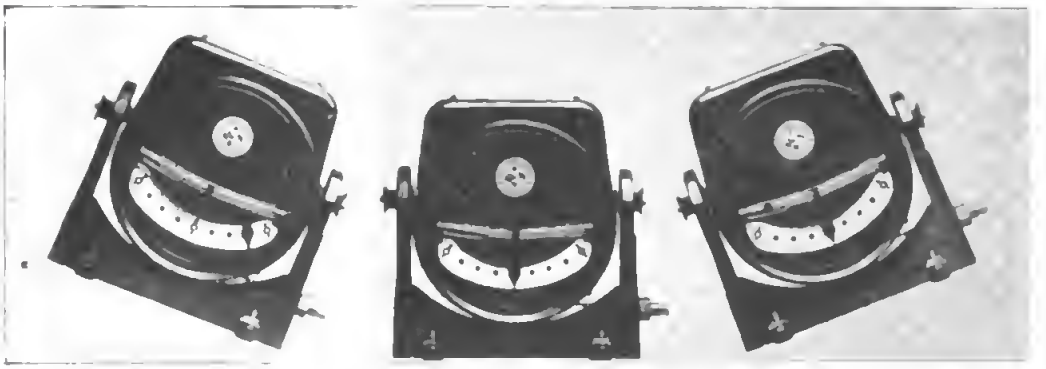


Abb. 179. Prinzip des Steuerzeigers (Drexler).

rung der Kompaßrichtung (φ), oder in Formel: $\alpha = \text{prop } \frac{d\varphi}{dt}$. Dies Gerät ist nun mit einem Querneigungspendel in Form eines Flüssigkeitsrohrs, neuerdings in From einer im Glasrohr rollenden Kugel äußerlich vereinigt (Abb. 180). Als Längsneigungs-



Kurve rechts. Gerade aus. Hängt links.

Abb. 180. Steuerzeiger Drexler.

messer wurde anfänglich ebenfalls ein U-Rohr benutzt, das neuerdings jedoch sachgemäßer durch einen Standruckfahrtmesser ersetzt ist.[1]) In dieser Vereinigung hat man nun alles, was man zur inneren Navigation bedarf; wenn auch ein künstlicher

[1]) Siehe hierüber im Kapitel: Fahrtmesser (S. 206), und weiteres unter: Aerodynamische Neigungsmesser (S. 151).

Horizont als Bezugsebene nicht vorhanden ist, so ist doch die hier getroffene Zerlegung in Komponenten naturgemäßer. Die Bedienung des Apparats wird damit sehr einfach. Was ihn aber vom Fliegerhorizont vorteilhaft unterscheidet, ist seine zeitliche Unabhängigkeit: auch langanhaltende Kurven bilden keine Veranlassung zu einer allmählichen Abweichung.

Eine ausführlichere Besprechung findet sich in der Zeitschrift „Der Motor", März—April 1919. Hier nur einiges darüber. Der Antrieb des Kreisels erfolgt

Abb. 181. Universal-Steuerzeiger Drexler.

durch eine Spezial-Drehstromdynamo, die dem Kreisel eine Drehgeschwindigkeit von 18000—20000 Touren pro Minute erteilt. Diese Dynamo wird durch einen Propeller angetrieben und ist somit unabhängig von etwaigen Betriebsstörungen anderer Kraftquellen. Das Gewicht der gesamten Anlage beträgt etwa 5 kg. Das Schaubild hat verschiedene Wandlungen durchgemacht; in der neuesten Form der Abb. 181 dürfte es alle Vorteile vereinigen, die aus den vielfachen Erfahrungen gesammelt wurden. Die Verbindung mit einem Höhenmesser ist natürlich nur eine äußerliche, stempelt aber das Gerät zu einem Universalinstrument.

b) Mechanische Geräte.

Im Anschluß an den soeben behandelten Steuerzeiger sei kurz eines Gerätes gedacht, das von Herrn Oppermann ersonnen und von der „Signal" G. m. b. H. Kiel gebaut wurde, jedoch bisher noch nicht zur Einführung gelangte. Die Idee ist folgende: Wenn es nach den obigen Ausführungen zur absoluten Neigungsmessung tatsächlich genügt, neben der durch Pendel usw. zu bestimmenden relativen Neigung die Größe der Bahnkrümmung zu kennen, so ist es gar nicht nötig, letztere direkt zu messen; man kann viel einfacher aus der Steuerstellung auf sie schließen. Verbindet man mit dem Seitensteuer einen Zeiger, dessen Nullstellung empirisch

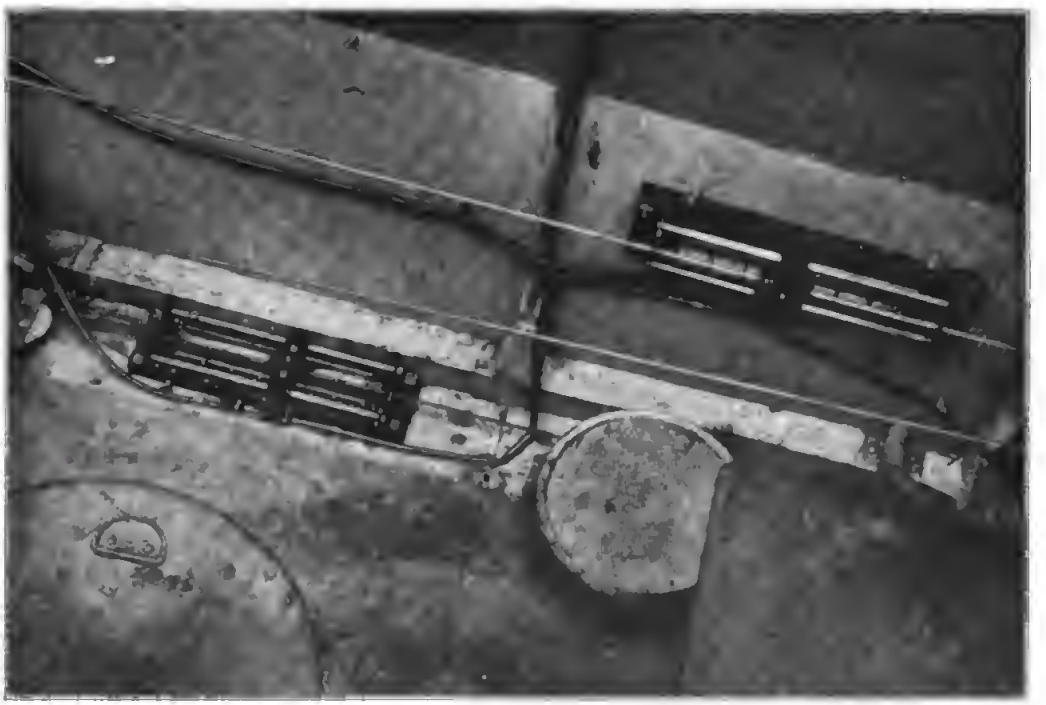


Abb. 182. Neigungsmesser nach Oppermann; Seitensteuerkontakte („Signal" Kiel).

aus dem Geradeausflug gewonnen wird, so wird jeder anderen Zeigerstellung eine bestimmte Kurve angebbarer Größe zugeordnet sein. Diese Idee hat zweifellos etwas in ihrer Einfachheit Bestechendes an sich; die dagegen erhobenen Einwände, daß „bei Seitenwind" auch im Geradeausflug Seitensteuer gegeben werden müsse, entbehren natürlich jeder Sachkenntnis. Ein anderer Einwand ist jedoch nicht von der Hand zu weisen: bekanntlich kann man auch bei festgestelltem Seitensteuer durch gleichzeitige Bedienung der Verwindung und des Höhensteuers Kurven ausführen. Diese würden sich der Anzeige durch unser Gerät entziehen. Immerhin handelt es sich dabei um Ausnahmezustände, die man im Nebel zu vermeiden sucht, so daß die Grundidee als solche noch nicht verworfen zu werden braucht. Abb. 182 ff. enthalten eine Ausführungsform. Als Angriffspunkt für die Abnahme der Steuerbewegung wird das im Rumpf verlaufende Seitensteuerkabel benutzt. Um

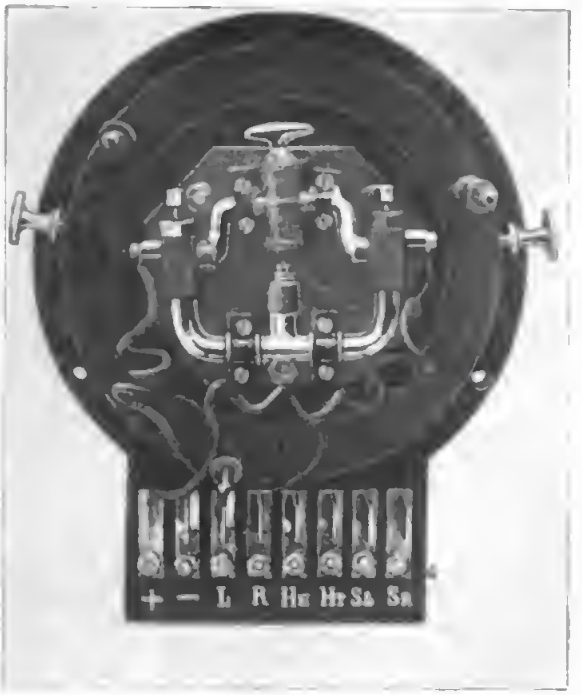


Abb. 183. Neigungsmesser nach Oppermann; U-Rohr („Signal" Kiel).

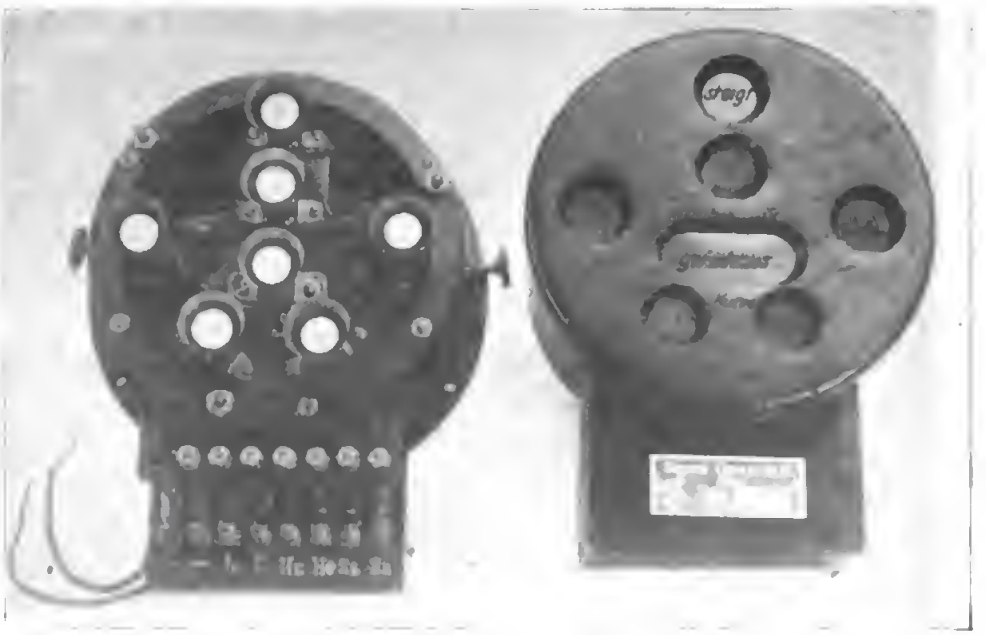


Abb. 184. Neigungsmesser nach Oppermann, Lampenanordnung („Signal" Kiel).

sie dem Piloten sichtbar zu machen, ist eine elektrisch-optische Übertragung gewählt. Ein am Kabel anzuschraubender Schuh (Abb. 182) betätigt einen Gleitkontakt, der in gewissen Stellungen Lämpchen im Anzeiger aufflammen läßt, evtl. unter Benutzung zwischengeschalteter Widerstände mit verschiedener Helligkeit. Der andere Teil des Geräts (Abb. 183), der relative Neigungsmesser, ist dem angepaßt; er besteht aus einem Quecksilber enthaltenden U-Rohr, das bei Schieflage Kontakte schließt. Die Signallämpchen sind sämtlich auf einem Brett (Abb. 184) in übersichtlicher Weise zusammengefaßt (verschiedene Farben). Die ganze Anordnung ist im Hinblick auf Nachtflüge getroffen; selbstredend ließe sie sich auch noch anders bewerkstelligen. Ein endgültiges Urteil über die Brauchbarkeit kann noch nicht gegeben werden; jedenfalls stände es an Wohlfeilheit an der Spitze aller absoluten Neigungsmesser.

c) Magnetische Geräte.

Einem Vorschlag von Prof. Fry, Leipzig, folgend, kann man auch das magnetische Erdfeld einer absoluten Neigungsmessung zugrunde legen. Auf die Grund-

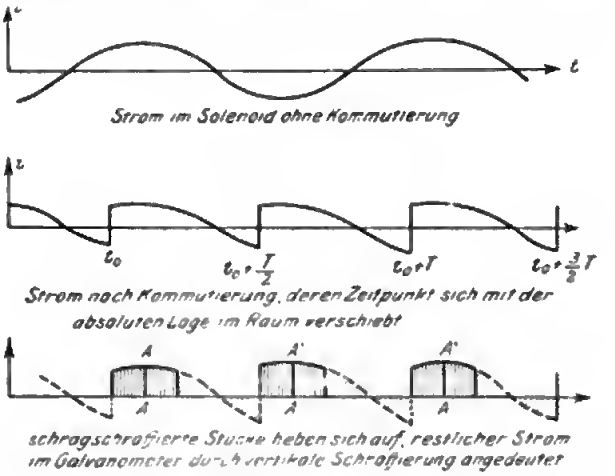


Abb. 185. Magnetischer Neigungsmesser nach Prof. Fry.

lage des Verfahrens werden wir noch beim „Induktionskompaß" (S. 183) eingehen. Es beruht auf der Rotation eines Solenoids im Erdfeld; der Strom wird durch einen im Flugzeug festen Kommutator abgenommen und an einem polarisierten Galvanometer gemessen; die jeweilige Absolutstellung der Bürsten ist ausschlaggebend für die Größe des Stromes. Das Prinzip ist durch Abb. 185 erläutert. Eine Kombination dreier solcher Geräte würde gleichzeitig als Neigungsmesser und als Kompaß wirken. Da aber die praktische Lösung dieses theoretisch einwandfreien Gedankens noch nicht erfolgt ist, müssen wir uns versagen, näher darauf einzugehen.

4. Aerodynamische Neigungsmesser (Kurvenmesser).

Wie in der Einleitung bereits erörtert wurde, ist vom rein flugtechnischen Standpunkt aus die Kenntnis der Horizontalen, d. h. des Schwerefeldes, weit weniger

wichtig als die der Flächen gleichen Drucks, d. h. des aerodynamischen Feldes. Letzteres ist aber aus der vergleichenden Anzeige mehrerer an verschiedenen Stellen des Flugzeuges untergebrachten Staudruckfahrtmesser feststellbar; Voraussetzung dafür ist die Benutzung unveränderlicher und hochempfindlicher Fahrt-

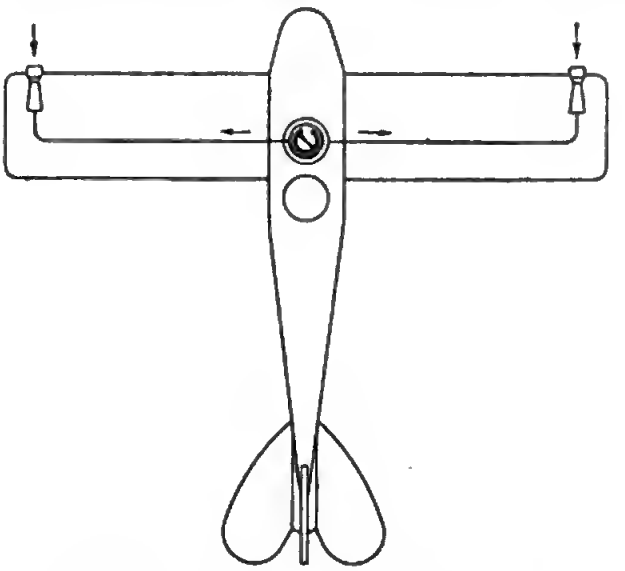


Abb. 186. Prinzip eines Staudruckkurvenmessers.

messer. Das gewöhnliche Piteau-Rohr (siehe S. 206) dürfte als zu unempfindlich ausscheiden, brauchbar ist allein ein sachgemäß durchgebildetes Venturirohr. Im allgemeinen wird man zwei solcher Geräte, je eines an jedem Flügelende, anbringen (Abb. 186). Welche Druckunterschiede in Kurven dabei auftreten, zeigt folgende Tabelle:

Differenzdrucke im Kreisflug in mm Hg.
Höhe: 1000 m. Spannweite: 12 m.

Radius	Geschwindigkeit in km/st.			
m	60	90	120	150
1000	0,4	0,9	1,5	2,4
500	0,8	1,7	3,0	4,5
200	1,9	4,1	6,7	8,9
100	3,6	7,3	10,2	11,7
50	6,7	10,7	12,4	13,0

Saugrohrkonstante 13,6 (siehe S. 207).

Wie man sieht, sind die Unterschiede nur klein und nehmen bei wachsender Höhe noch ab (siehe hierüber auch: K. Bennewitz, Technische Berichte der Flugzeugmeisterei Band III Heft 5). Abgesehen davon sind sie etwa proportional der Winkelgeschwindigkeit. Es gilt nun Methoden zu finden, die diese etwas verwickelte Funktion dem Ablesenden ohne weiteres verständlich machen.

Vom Verfasser wurde folgender Weg angegeben, der von der Firma Westendarp & Pieper beschritten wurde (Abb. 187). Die zu den beiden Staurohren *e*, *f* ge-

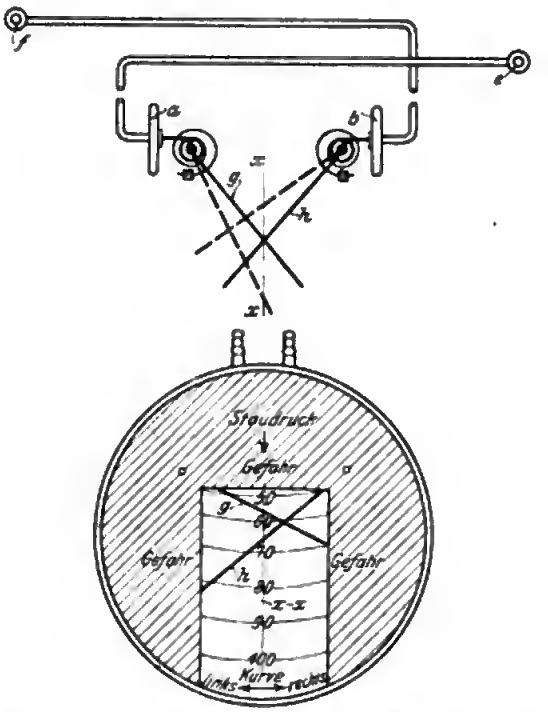
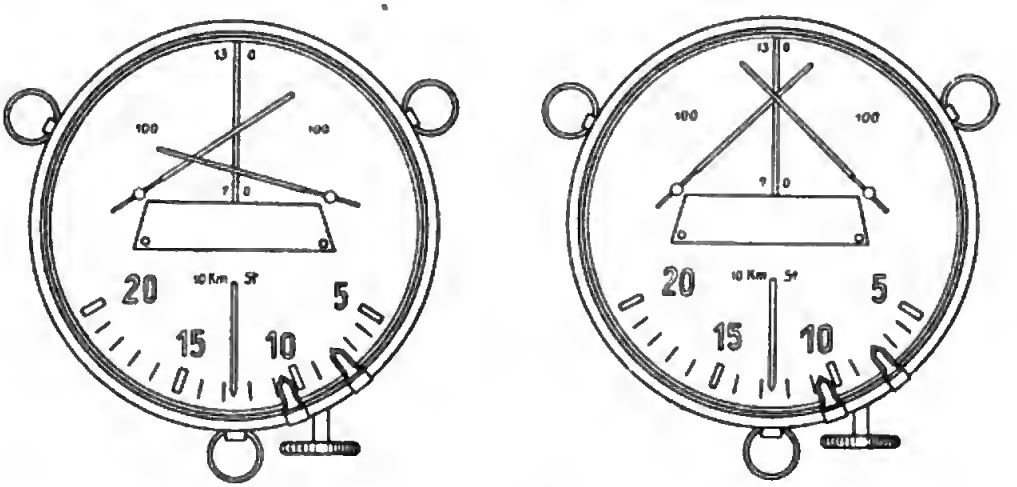


Abb. 187. (a und b) Staudruckkurvenmesser nach Bennewitz.



Kurve links. Geradeaus.

Abb. 188. Staudruckkurvenmesser (Westendarp u. Pieper) nach Bennewitz.

hörigen Manometer *a*, *b* (siehe unter Fahrtmesser) werden nebeneinander montiert und mit gegenläufigen Nadeln *g*, *h* versehen, derart, daß sich diese auf einer zwischen den Manometern verlaufenden Geraden *x*, *x* kreuzen. Bei gleicher Be-

anspruchung beider Dosen verschiebt sich somit der Kreuzungspunkt entlang dieser Geraden. Dieser Zustand entspricht dem Geradeausflug. Wird nun etwa das linke Manometer a, das mit der rechten Staudüse e gekoppelt ist, stärker beansprucht (infolge einer Linkskurve), so verschiebt sich der Kreuzungspunkt nach links (Abb. 187a) und es entsteht ein nach links gespitztes Dreieck $g\,h\,x$. Das Vorhandensein eines solchen bedeutet also: Kurve links. Der Flächeninhalt dieses Dreiecks (das in Abb. 187b für eine Rechtskurve gezeichnet ist) ist näherungsweise der Winkelgeschwindigkeit, d. h. der Schärfe der Kurve proportional. Gerät der Kreuzungspunkt in die Nähe des etwa rechteckigen Sichtausschnittes, so bedeutet das Annäherung an die Gefahrgrenze. Versuche, die mit diesem Gerät (Abb. 188) in großer Zahl gemacht wurden, zeigten, daß die Hauptschwierigkeit in dem Ausgleich beider Messer liegt. Da nämlich die Flügelkurven des Flugzeugs beiderseitig verschieden sind (zum mindesten ihre Anstellwinkel), so liegen aerodynamisch korrespondierende Stellen nicht in gleichen Höhen. Ihre Ermittlung ist nicht ganz einfach. Versuche mit Regulieröffnungen führten nicht zum vollen

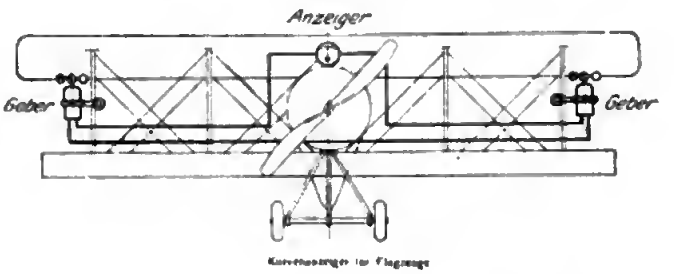


Abb. 189. Schalenkreuzkurvenmesser (Morell).

Erfolg. So ist denn auch dieses Instrument, wie so manches andere, noch in den Kindersehuhen steckengeblieben.

Vielleicht zeigt sich die in Abb. 189 angedeutete Lösung, wobei die Staudruckmesser durch Schalenkreuze mit elektrischer Fernübertragung ersetzt sind, günstiger in der Durchführung.

Damit wären die zur Zeit bekannten Mittel zur Neigungs- und Kurvenmessung erschöpft. Kurz zusammengefaßt ergibt sich als zweckmäßigste Bestückung:

1. Querneigungsmesser: Flüssigkeitsrohr mit rollender Kugel.
2. Längsneigungsmesser: Staudruckfahrtmesser.
3. Kurvenmesser:
   a) bei großen Flugzeugen: Drexlerscher Steuerzeiger;
   b) bei kleineren Flugzeugen: voraussichtlich ein verbesserter Staudruck-Kurvenmesser.

Neuere Literatur: Drexlers Steuerzeiger: A. Neuburger, Verkehrstechnik **1**, 51 bis 53 (1920). — Staudruckkurvenmesser: H. Darwin, Aeronautics **17**, 410—412 (1919). — Schräglage in Kurven: W. K., Deutsche Luftfahrer-Zeitschr. **23**, 7—8, 13—14 (1919). — Neigungsmesser: D. L. Webster, Phys. Rev. **14**, 161—163 (1919); E. Everling, Motorwagen **22**, 531—533 (1919); Aerial Age Weekly **11**, 257—58 (1920).

D. Kompasse.

1. Orientierung und Navigation.

a) Astronomische Orientierung.

Das wichtigste Orientierungsmittel des Fliegers ist die Landkarte. Um sie zu gebrauchen, ist es von Vorteil, sie mit dem Landschaftsbild in Deckung zu bringen, sie also zu richten. Hierzu benötigt man die Kenntnis einer im Raume festliegenden Bezugsrichtung, des geographischen Meridians.

Diesen kann man direkt auf zwei Weisen ermitteln, nämlich durch astronomische Messungen oder durch den Kreiselkompaß. In gewissen Sinne fällt die schätzungsweise Orientierung nach Sonne, Mond oder Sternbildern unter erstere und es wäre wohl denkbar, Geräte auszuführen, die eine Bestimmung mit Hilfe der Gestirne zuließen. Solche Geräte würden aber der ersten Anforderung an Flugzeuginstrumente, nämlich der dauernden Bereitschaft nicht entsprechen, da sie die Sichtbarkeit der Gestirne voraussetzen.

b) Kreiselkompaß.

Was den Kreiselkompaß betrifft, so sind zwar des öfteren Versuche mit ihm im Flugzeug angestellt, die auch bis zu einem gewissen Grade seine Verwendbarkeit bewiesen haben; jedoch sprechen verschiedene Umstände gegen eine allgemeine Einführung. Einmal ist es bisher noch nicht gelungen, einen Kreiselkompaß zu bauen, der sowohl bei schnellen wie bei lange andauernden Wendungen des Flugzeuges absolute Zuverlässigkeit besitzt, dann aber spricht in der Praxis der unvermeidlich hohe Preis gegen seine allgemeine Einführung. Selbstverständlich ist damit nicht gesagt, daß er nicht für ganz bestimmte Zwecke, namentlich wissenschaftlicher Art, oder auch bei Großflugzeugen, bei denen der Geradeausflug überwiegt, einmal eine Rolle spielen könnte.

Da jedoch bisher wirkliche Erfolge auf Flugzeugen nicht erzielt sind, müssen wir uns ein Eingehen auf dieses interessante und sehr ausgedehnte Gebiet versagen. Wir geben an Stelle dessen einige neuere Literatur:

R. Grammel, Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt **10**, 1—12 (1919); **10**, 125 (1919); C. Boykow, ibid. **10**, 124—125 (1919); Derselbe, The Engineer **129**, 55—57, 81—83 (1920); A. Keller, Prometheus **31**, 65—68, 75—78, 83—85 (1919); O. Martienssen, Elektrotechn. Zeitschr. **34** (1911); Phys. Zeitschr. **20**, 21—22 (1919); Zeitschr. d. Ver. d. Ing. **63**, 1224—1231, 1250—1257 (1919); H. Lorenz, ibid. **64**, 68—69.

Für den gewöhnlichen Zweck der Orientierung ist man somit gezwungen, auf den magnetischen Meridian als Bezugsrichtung zurückzugreifen. Der Winkel zwischen ihm und dem geographischen Meridian, die sog. Mißweisung, ändert sich bekanntlich von Ort zu Ort und ist direkt nicht meßbar. Bei großen Überlandflügen, wo ihre Änderung bereits eine Rolle spielen kann, entnimmt man sie einer Isogonenkarte, bei Flügen auf kürzere Entfernung macht sich ihre Änderung kaum bemerkbar, so daß man sie als jeweilige Konstante in Rechnung stellen kann.[1])

[1]) Über die Schwankungen des Erdmagnetismus: S. Chapman, Trans. Cambr. Phil. Soc. **22**, 341—359 (1919).

In diesem Falle könnte man sie, was jedoch bisher nicht der Fall war, direkt in die Anzeige des magnetischen Weisers hinein verlegen. Der Grund, daß man davon absah, liegt darin, daß ein solcher auf Mißweisung korrigierter Kompaß nur für bestimmte Landstriche Geltung hat, was seine allgemeine Verwendbarkeit beeinträchtigt. Wohl aber könnte man daran denken, den Kursring drehbar zu gestalten, so daß er jeweilig auf die Mißweisung eingestellt werden kann.

c) Der Magnetkompaß.

Es handelt sich nunmehr um die Bestimmung des magnetischen Meridians, und zwar mit Hilfe des Magnetkompasses. Der Verwendung des letzteren im Flugzeug steht der Umstand hindernd im Wege, daß die Eisenmassen des Motors, sowie verschiedenerlei elektrische Ströme einen als „Deviation" bezeichneten Fehler verursachen. Dieser ist es, der dem Flugzeugkompaß das besondere Gepräge verleiht. Als Analogon hierfür möge der U-Bootkompaß und der gewöhnliche Schiffskompaß angeführt werden. Die Deviation ist nun im Flugzeug besonders groß, da die störenden Momente sich auf engem Raum zusammendrängen. Zu ihrer Beseitigung gibt es zwei Mittel: Kompensation und räumliche Trennung.

α. Kompensation

nennt man die absichtlich herbeigeführte Überlagerung eines magnetischen Hilfsfeldes über das durch Eisenmassen deformierte Erdfeld, derart, daß am Ort der Kompaßnadel das Normalerdfeld wieder hergestellt wird. Man muß dabei unterscheiden, ob die Deformation durch permanenten oder induzierten Magnetismus der Eisenmassen hervorgerufen ist. Den größeren Anteil trägt gemeinhin der erstere, so daß sich in der Praxis die Kompensation auf ihn beschränkt. Sie erfolgt durch Hinzufügung eines permanenten Zusatzfeldes, das durch Hilfsmagnete erzeugt wird. Diese müssen von der Nadel so weit entfernt sein, daß sie den ganzen von ihr bestrichenen Raum homogen im Sinne des Erdfeldes machen, eine Bedingung, die bei den gebräuchlichen Kompaßtypen häufig nicht erfüllt ist. Als Folge zeigt sich dann eine restliche Deviation, die bei einer Drehung um 360° zwei Nullpunkte und je ein positives und negatives Maximum aufweist (Abb. 190). Den durch induzierten Magnetismus erzeugten Fehler kann man ähnlich durch Anbringung von Weich-

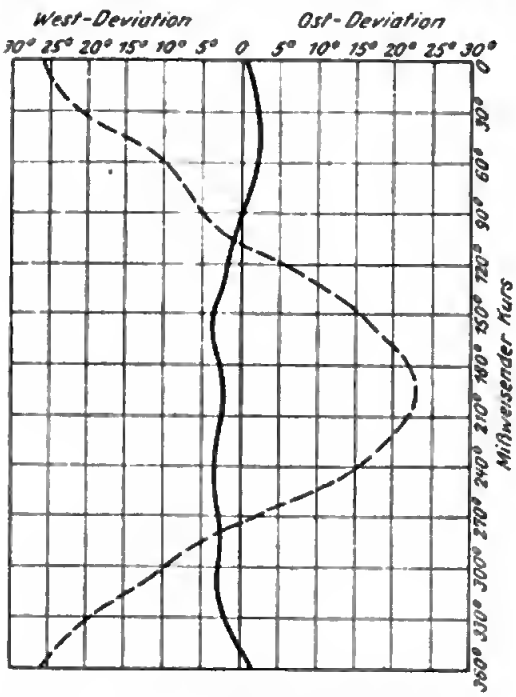


Abb. 190. Beispiel einer Deviationskurve
– – – – vor
——— nach
der Kompensierung.

eisenhilfsstäben beseitigen. In der Fliegerei ist dies bei der Schiffahrt gebräuchliche Verfahren noch nicht verwendet worden, weil es den Kompensierungsgang wesentlich erschwert.

Bei allem ist vorausgesetzt, daß die Eisenmassen im Flugzeug starr untergebracht sind. Ändern sie ihre Lage, so wird die Kompensierung notwendigerweise gestört. Noch schädlicher sind zeitweilig eingeschaltete elektrische Ströme, die zwar durch Bifilarlegung der Leitungen ziemlich unterdrückt werden können, dort aber, wo Doppelleitungen unmöglich sind, stark zur Wirkung kommen. Eine Kompensation hiergegen ist ausgeschlossen, es bleibt nur das Mittel der

β. räumlichen Trennung.

Da die von den Eisenmassen und Strömen hervorgerufene Deformation des Erdfeldes mit der Entfernung rasch abnimmt, verlegt man den Kompaß möglichst weit weg von ihnen. Hierdurch wird jedoch Ablesung wie Bedienung erschwert, woraus sich eine Reihe neuer Aufgaben ergiebt.

Verlegt man den Kompaß etwa in die Tragflächen, so wird die Sichtbarkeit des horizontalen Rosenbildes derart ungünstig, daß große Parallaxenfehler entstehen. Man ist deshalb bemüht gewesen, das Bild aufzurichten und zwar mit Hilfe von Spiegeln oder Prismen verschiedener Form. Dann ging man dazu über, die Rose so umzugestalten, daß sie eine vertikale Ablesung gestattet. Es entstand der Trommelkompaß. Endlich beschäftigte man sich mit dem Problem der Fernübertragung der Anzeige. Nachdem alle Versuche einer direkten mechanischen Übertragung erfolglos blieben und auch optische Mittel, wie Ablesung durch Fernrohr, nicht zum Ziele führten, fand man im Selenkompaß, wenn auch wohl nicht die endgültige, so doch eine vorläufige Lösung, die namentlich für größere Flugzeuge wertvoll ist. An dieser Stelle wäre auch noch der Versuche mit dem Induktionskompaß zu gedenken, die jedoch vorläufig noch in den Kinderschuhen stecken.

Eine durch die räumliche Entfernung weiterhin hervortretende Schwierigkeit liegt darin, daß sich solche Kompasse während des Fluges nicht bedienen lassen; so wird z. B. die Einstellung des Kurszeigers unmöglich. Als Hilfsmittel hierfür sind Bowden-Züge und ähnliche mechanische Mittel in Vorschlag gebracht worden, doch scheint ihr Wert ihre technische Ausbildung kaum zu rechtfertigen. Wichtiger jedoch ist die bei der Fernlegung des Kompasses bestehende Gefahr des Einfrierens oder Beschlagens. Durchgreifende Mittel gegen diesen Übelstand wurden bisher noch nicht gefunden.

Alle diese Erfahrungen, auf die wir unten eingehender zurückkommen werden, führten dazu, daß man den Kompaß, wenigstens bei kleineren Flugzeugen, wieder in den Rumpf verlegte, jedoch mehr Sorgfalt auf die Wahl eines der Deviation entzogenen Platzes verwandte.

d) Navigation.

Alle die bisher erwähnten Kompaßformen dienen in erster Linie der Orientierung, insbesondere dem Kartenlesen. Sie werden in der Flugpraxis überwiegend in dem Sinne gebraucht, daß sie den magnetischen Meridian und somit auch die

Nordrichtung anzeigen, woraus sich die Orientierung der Karte ergibt. Nun ermöglicht das Vorhandensein des Steuerstriches noch ein zweites, nämlich die Festlegung der Flugzeugachse in bezug auf den Meridian. Während bei der Schiffahrt einzig und allein in diesem Sinne gemessen wird und die Seefliegerei, die wohl überwiegend von Marinefachleuten geübt wird, dieses Verfahren übernommen hat, hat sich die Landfliegerei damit erfahrungsgemäß nicht befreunden können. Der Landflieger richtet sich vorzugsweise nach dem Nordpfeil. Ein Grund mag in der schweren Ablesbarkeit der Skalenteilung und in der mangelnden Übung bei der Einschätzung der Gradteilung zu suchen sein. Ein weiterer wesentlicherer Grund liegt auch darin, daß im Gegensatz zur Schiffahrt die Richtung der Flugzeugachse keine direkte Bedeutung für den Führer besitzt, da sie sich mit der Richtung des Kurses nur bei Windstille deckt.

Um dem Flieger entgegenzukommen, hat man sog. Kurszeiger eingeführt. Diese sollen einerseits die schlechte Erkennbarkeit des Kursstriches dadurch umgehen, daß sie die Ablesung in den stark hervorgehobenen Nordzeiger verlegen, andererseits aber die Möglichkeit gewähren, die wegen der Windeinflüsse notwendige Abtriftkorrektion zu erleichtern. Sie erfüllen jedoch ihre Aufgabe nur unvollkommen, da sie einmal eine manuelle Bedienung erfordern, dann aber infolge ihrer Linksläufigkeit, d. h. entgegengesetzt der Orientierung der Himmelsrichtungen, bei der Einstellung einer gewissen Gedankenarbeit bedürfen und infolgedessen leicht zu Irrtümern Anlaß geben. Diesen Nachteil versucht ein vom Verfasser angegebener Spiegelkompaß zu überwinden, bei dem der Kurs in einem dem Vorstellungsbilde entsprechenden Richtungssinn angezeigt wird, wodurch die Ablesung instinktiv erfolgt.

Das zweite Moment, das wir bereits angedeutet haben, ist die Berücksichtigung der vom Winde erzeugten Abtrift, die erhebliche Werte erreichen kann. Der Kurs setzt sich bekanntlich aus der Eigenbewegung und der Windbewegung zusammen. Seine Bestimmung erfolgte bisher unter Zuhilfenahme sog. Kursschieber. Dieses Verfahren setzt Übung im Gebrauch und geistige Konzentration voraus. Da namentlich letztere im Fluge beeinträchtigt ist, hat es sich nicht viel Freunde erwerben können. Neuerdings ist man nun der Frage näher getreten, Instrumente zu schaffen, die diese Arbeit selbständig oder mit einem geringen Aufwand an geistiger Tätigkeit ausführen. Im wesentlichen sind es zwei Verfahren, die angegeben und erprobt wurden. Das erste Verfahren beruht darauf, daß durch gleichzeitiges Peilen des Beobachters und Steuern des Führers das Flugzeug allmählich auf Kurs gebracht wird. Dies Verfahren setzt Bodensicht voraus. Das zweite benutzt den sog. „Reisekompaß". Dieser stellt eine Verbindung von Kompaß und Winddreieck dar, die fast völlig selbständig arbeitet. Hierbei ist zwar die Kenntnis des Windes erforderlich, ebenso wie beim Winddreieck, dagegen wird auf Bodensicht verzichtet. Damit dürften die Möglichkeiten auf diesem Gebiet so ziemlich erschöpft sein.

Eine weitere Aufgabe der Navigation ist die, einen bestimmten Kurs möglichst genau innezuhalten. Um Abweichungen gut zu erkennen, hat man Mittel ersonnen, den Kompaßausschlag zu vergrößern. Unter den Beutekompassen befand sich ein solcher, der diese Vergrößerung mit Hilfe mechanischer Zahnradübersetzung

bewirkt. Eine derartige Lösung erscheint jedoch als unbrauchbar. Dagegen erreicht der bereits erwähnte Selenkompaß jeden beliebigen Grad von Feineinstellung auf einfachste Weise.

Eng verwandt mit dieser Aufgabe ist eine weitere: Kursfehler, die während des Fluges durch Unachtsamkeit entstanden sind, nachträglich auszugleichen. Eine Lösung auf diesem Gebiet wurde (Reichard) durch schriftliche Fixierung des zurückgelegten Kurses versucht. Durch eine — tatsächlich nicht einfache — Analyse der erhaltenen Kurve läßt sich der Fehler nachträglich korrigieren. Um diese gedankliche Arbeit zu umgehen, müßte man des weiteren daran denken, die Anzeige eines derartigen Kursschreibers mechanisch über die Zeit zu integrieren. Man erhielte alsdann direkt ein Maß für die Abweichung vom geraden Wege. Solche Integrationsgeräte scheinen jedoch, so beliebt sie auch als Erfinderaufgabe sind, zur Zeit noch nicht gelöst zu sein. Dazu kommt noch, daß bei solchen Konstruktionen die Windabtrift nicht berücksichtigt ist. Eine gleichzeitige Erfassung aller dieser Momente läßt sich aber technisch wohl kaum bewältigen.

Damit nähern wir uns bereits der letzten und lohnendsten Aufgabe, die die Navigation dem Konstrukteur stellt, nämlich der schriftlichen Fixierung des vom Flugzeug zurückgelegten Weges auf einer Landkarte. Dies Problem, das bereits von mancher, meist unberufenen Seite in Angriff genommen wurde, stellt so ziemlich das Schwierigste dar, was sich an Flugzeuginstrumenten ersinnen läßt. Den Erfindern schwebt meistens eine Lösung der Form vor, daß entweder ein Schreibstift auf einer vor dem Flieger ausgebreiteten Karte eine dem eingeschlagenen Wege entsprechende Kurve zurücklegt oder daß sich die Karte selber im Sinne der überflogenen Landschaft unter einem festen Stift fortbewegt. Ein solches Gerät umfaßt als Elemente außer der Kursrichtung (einschließlich Mißweisung) noch die Eigengeschwindigkeit und die Winddaten. Grundsätzlich erscheint es in dieser Form nicht unlösbar. Noch radikalere Köpfe versuchen absolute Geschwindigkeitsmesser mit Kompassen in Verbindung zu bringen, eine Aufgabe, die heute als hoffnungslos bezeichnet werden muß.[1])

Wir kommen nun zur Darstellung der Einzelheiten der in diesem Abschnitt gegebenen Übersicht.

2. Besondere Ausführungsformen.

a) Der Magnetkompaß (normaler Armeekompaß).

Im Flugzeug werden zur Zeit ausschließlich Flüssigkeitskompasse verwendet. Versuche mit Trockenkompassen liegen weit zurück und sollen keine guten Resultate ergeben haben. Hauptsächlich werden schlechte Dämpfung und Abnutzung der Pinne bemängelt; doch dürfte damit noch nicht das letzte Wort gesprochen sein. Wenigstens haben neueste Versuche ergeben, daß bei geeigneter Durchbildung auch ein Trockenkompaß seine Aufgabe recht gut erfüllen kann.

[1]) Neuere Literatur über Navigation: Th. A. Sönnigsen, Navigation und Seemannschaft im Seeflugzeug. Ein Handbuch für Marineflieger. Bibl. für Luftschiffahrt und Flugtechnik, Bd. 21. Berlin, R. C. Schmidt (1918). W. Immler, Flugzeugkompaßwesen und Flugzeugsteuerkunde. Charlottenburg, C. J. Volkmann (1918). E. Everling, Der Einfluß des Windes im Luftverkehr. Die Naturwissenschaften 8, 418—423 (1920).

Der Flugzeugkompaß hat sich naturgemäß aus dem Schiffskompaß entwickelt, bei dem bereits eine beträchtliche Menge von Erfahrungen vorlag. Es wäre unzweckmäßig, den Entwicklungsgang bis zur heutigen Form im einzelnen darzustellen, vielmehr soll an Hand des während des Krieges normalisierten Kompasses auf die

Abb. 191. Rumpfkompaß, sog. Marine-Leuchtkompaß (Bamberg).

Besonderheiten dieses Geräts hingewiesen werden. In Abb. 191—201 sind die Außenansichten gebräuchlicher Kompasse einander gegenübergestellt, wie sie von verschiedenen Firmen (teilweise nach der später zu erläuternden Vorschrift) ausgeführt wurden. Die Normalisierung ist also keine vollkommene, sondern berück-

Abb. 192. Rumpfkompaß (Ludolph).

sichtigt die Eigenarten ihrer Erzeuger im weitesten Maße. Es sollte auf diese Weise einerseits der Weg zur Weiterentwicklung offen gehalten werden, andererseits wäre eine Vereinigung der großen Zahl der auf diesem Gebiete existierenden Patente usw. kaum möglich gewesen. Was vereinheitlicht wurde, waren nur solche Elemente, deren besondere Ausführungsform sich in der Praxis als unbedingt

Abb. 193. Rumpfkompaß
(Gesellschaft für Nautische Instrumente).

Abb. 194. Rumpfkompaß (Pfadfinder).

Abb. 195. Rumpfkompaß (Sendtner).

Abb. 196. Tragflächenkompaß (Bamberg).

Abb. 197. Tragflächenkompaß (Heehelmann).

Abb. 198. Tragflächenkompaß (Ludolph).

Digitized by Google

Abb. 199. Tragflächenkompaß (Gesellschaft für Nautische Instrumente).

Abb. 200. Tragflächenkompaß (Pfadfinder).

Abb. 201. Französischer Kompaß.

Abb. 202. Normalkompaß.

Abb. 203. Normalkompaß.

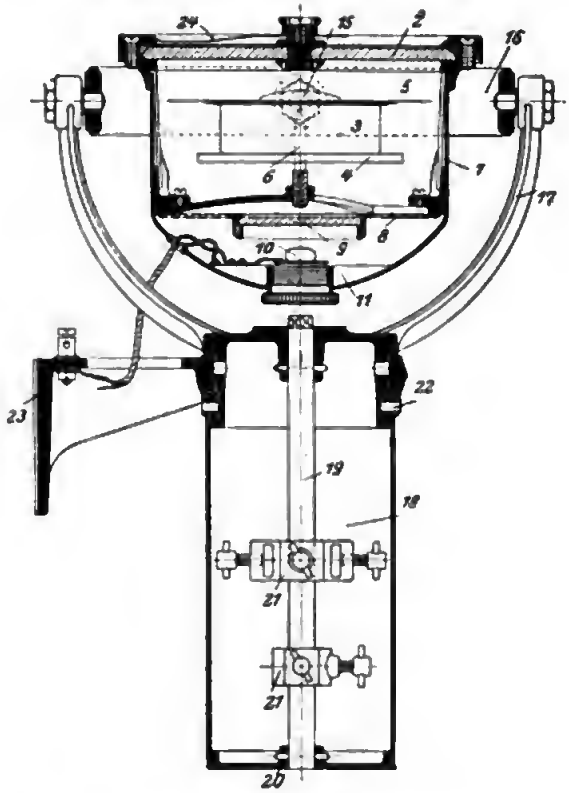


Abb. 204. Normalisierter Rumpfkompaß.

erforderlich oder nützlich erwiesen hatte. Von diesem Gesichtspunkte aus sind die in folgendem gegebenen Richtlinien zu bewerten. Abb. 202—204 geben das Äußere und Innere eines streng nach Vorschrift ausgeführten Normalkompasses. (Die Zahlen im folgenden beziehen sich auf Fig. 204.)

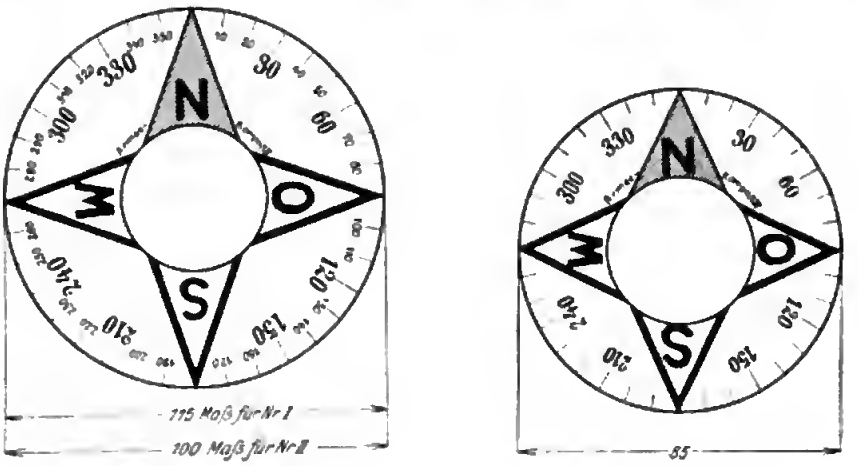
α. Nadel, Schwimmer und Rose (Abb. 204, *4*, *3*, *5*).

Die hauptsächlichste Anforderung an den einem schnellen Kurswechsel unterworfenen Flugzeugkompaß ist ein starkes magnetisches Moment der Nadel (der Magnete). Während des Krieges wurde allmählich der Mangel an gutem Stahl bemerkbar. Ebenso bedeutsam ist ein kleines Trägheitsmoment des Schwimmers. Leider sind wir auf diesem Gebiete unseren Gegnern noch wesentlich unterlegen. Neben der Nadel ist es das Gewicht der Rose, das einen großen Schwimmer verlangt und zusammen mit dieser ein recht erhebliches Trägheitsmoment erzeugt. Teilweise war hieran wieder Mangel an geeignetem Rosenmaterial schuld, für das sich nach den bisherigen Erfahrungen Glimmer am besten bewährte. An Stelle dessen wurde, nicht gerade zum Vorteil, bisweilen Kupfer, Emaille oder Glas verwandt. Es ergibt sich daraus eine verhältnismäßig lange Schwingungsdauer, die der Wendigkeit des modernen Flugzeuges nicht mehr angepaßt ist. In Anerkennung der Beschaffungsschwierigkeiten sah man sich genötigt, die Forderungen sehr niedrig zu stellen; somit sind die hier angegebenen Normalien durchaus als Notbehelf aufzufassen. Verlangt wurde eine Schwingungsdauer (halbe Schwingung) von höchstens 8—10 Sekunden; eine Gesamtschwingungsdauer (bis zur praktischen Ruhe der Nadel) von höchstens 30 Sekunden. Das Dämpfungsverhältnis soll zwischen 2,5 und 3,5 liegen. (Unter Dämpfungsverhältnis ist der Quotient zweier aufeinander folgender halber Schwingungen verstanden.) Diese Angaben beziehen sich auf Typen mittlerer Größe (siehe unten). Zum Vergleich sei mitgeteilt, daß Beutekompasse (freilich anderer Konstruktion und dafür mit anderen Fehlern behaftet) im allgemeinen die Hälfte obiger Schwingungsdauer und darunter besaßen. Der Grund ist wohl nicht so sehr in dem besseren Material oder der sauberen Arbeit zu suchen, als in einem dem Deutschen eigenen Bestreben, Gediegenheit auf Kosten der Zweckmäßigkeit zu bezeigen.

Eine weitere Forderung ergibt sich aus der Unstabilität der Flugzeuglage. Die Magnete (*4*) dürfen nicht zu tief unter dem Unterstützungspunkt des Schwimmers (*15*) angebracht sein, der andernfalls ins Pendeln gerät. Sie werden vorteilhaft im Innern des Schwimmers untergebracht, wo sie besser gegen äußere Einflüsse geschützt sind. Der Versuch, die Schwingungsdauer durch erhöhte Dämpfung herabzusetzen, z. B. durch Anbringung von schaufelartigen Ansätzen am Schwimmer oder im Gehäuse hat sich als nicht zweckentsprechend erwiesen, da solche Dämpfungsmittel bei Wendungen des Flugzeugs gerade in unerwünschtem Sinne wirken müssen und damit den Schwimmer an der Innehaltung seiner Ruhelage verhindern. Grundsätzlich ist also eine möglichst reibungslose Formgebung des Schwimmers und seiner Zubehörteile ebenso wie der Kesselwände anzustreben. Die Verkürzung der Schwingungsdauer kann lediglich durch Erhöhung der Richtkraft und Verringerung des Trägheitsmoments erreicht werden.

β. Rosenblatt (Abb. 204, 5).

Über das Material ist bereits gesprochen worden. Das Blatt soll möglichst eben sein, da Wölbungen, die sich des Schwimmers wegen bisweilen als nötig erwiesen, die Ablesbarkeit ungünstig beeinflussen. Die Beschriftung des Rosenblatts war anfangs von der Marine übernommen worden. Es stellte sich allmählich das Bedürfnis heraus, hierin eine Norm zu schaffen, da die Ablesung zum guten Teil auf Gewöhnung beruht. Außerdem sind die Bedürfnisse des Landfliegers hierin wesentlich andere als die der Marine. Die verschiedenen Farben der Himmelsrichtungen, die bei letzterer üblich sind, verwirren das Bild mehr als sie nützen, namentlich bei häufigem und schnellem Kurswechsel. Dazu kommt der Umstand, daß manche Flieger bunte Brillen benutzen, die die Farben entstellen. Als Norm wurde das in Abb. 205 angegebene Rosenblatt allgemein eingeführt. Die Bilder



Typ I u. II. Typ III.

Abb. 205. Normalzifferblätter (Rosen). Schraffierung: rot.

sind für die drei gebräuchlichen Größen fast identisch, nur mit dem Unterschied, daß die beiden größeren Formen Beschriftungen von 10 zu 10° besitzen, während bei dem kleinsten Typ eine solche von 30 zu 30° mit eingefügter aber unbenannter Zehngradteilung vorhanden ist. Diese für Marinezwecke viel zu grobe Teilung hat sich für die Landfliegerei als vollkommen ausreichend erwiesen, da ein Steuern auf 2° genau im normalen Flugzeug kaum möglich ist und eine schätzungsweise Unterteilung viel einfacher zu vollziehen ist, als eine Ablesung wirklich durchgeführter Gradteilung. Die Markierung des Nordzeigers durch rote Farbe erweist sich zur schnellen instinktmäßigen Erfassung der Orientierung als sehr zweckmäßig. Die Größe der Beschriftung ist ebenfalls von Bedeutung.

γ. Pinne (Abb. 204, 6).

Die Pinne muß genau in der Rosenblattebene enden, da andernfalls sehr leicht unfreiwillige Drehungen der Rose eintreten. Man verwendet am besten möglichst

harte Bronze. In Anbetracht der Stöße, die sie beim Rollen des Flugzeugs zu ertragen hat, erwies sich eine einfache Federung der Pinne als vorteilhaft (in der Abbildung nicht ersichtlich). Die Betriebsdauer eines Kompasses erhöht sich wesentlich dadurch, daß man die Pinne auswechselbar gestaltet. Das Hütchen, das auf ihr ruht, muß in einem solchen Winkel ausgebohrt sein, daß bei einer Neigung der Rose um 15° sein Rand die Pinne noch nicht berührt.

δ. Kessel (Abb. 204, *1*).

Die verschiedenen Kesselformen sind aus den einzelnen Abbildungen 191—204 ersichtlich. Als Material ist hier, wie bei allen Teilen, die mit der Kompaßflüssigkeit in Berührung kommen, Aluminium zu vermeiden, da es leicht zu Flockenbildung Anlaß gibt; auch eine Lackierung muß hierauf Rücksicht nehmen. Die im Boden befindliche Membrane (*8*), die zum Raumausgleich der Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen dient, muß in Anbetracht des meistens nicht unerheblichen Ausdehnungskoeffizienten der Füllungen genügende Raumvergrößerung gestatten. Die Dichtung der Schauscheibe sowohl wie der bisweilen im Boden vorgesehenen Beleuchtungsscheiben wird am besten durch einen Gummiring bewirkt, wobei eine möglichst geringe Fläche des letzteren von der Flüssigkeit benetzt werden soll, weil andernfalls leicht Quellungen und Undichtigkeiten auftreten.

ε. Aufhängung.

Die Frage, ob ein Kompaß mit einem Kardangehänge zu versehen ist, wird verschieden beurteilt. Unsere Gegner gaben dem Schwimmer selber eine große Bewegungsfreiheit und umgingen dadurch den Kardan. Die Parallaxe läßt sich jedoch auf diese Weise nur bei dem später zu beschreibenden Trommelkompaß und dem Kuppelkompaß vermeiden. Beim Horizontalkompaß ist eine innere Bewegungsfreiheit von 15° noch statthaft; nun beträgt aber der Kippwinkel auch unserer schwereren Flugzeuge 25°

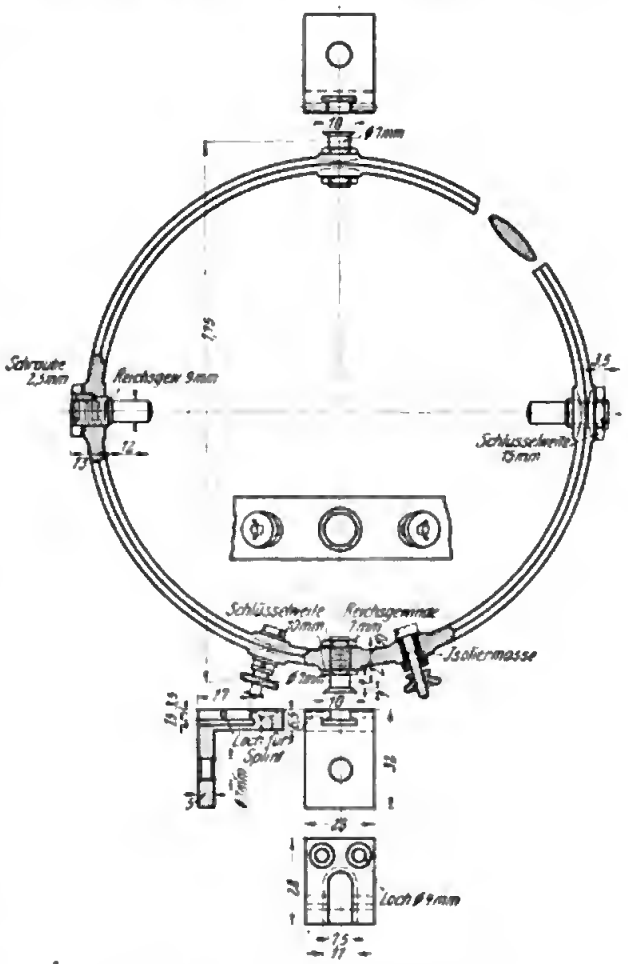


Abb. 206. Normalien der Kompaßaufhängung (Kardan).

und mehr, z. B. beim Gleitfluge. Die Längsneigung ist also unbedingt durch Kardangelenk zu beseitigen. Die Querkippungen sind im allgemeinen geringer, trotzdem werden bei uns auch sie durch ein zweites Kardangelenk aufgenommen, da andernfalls die Rose in der Kurve leicht hängen bleibt. Das bisweilen auftretende Schlagen des im Doppelkardan hängenden Kompasses ist zwar lästig, aber immerhin der kleinere Fehler. Jedenfalls muß man aber durch elastische Anschläge einer Verletzung des Kessels vorbeugen. Für kleinere Flugzeuge, denen der Looping zur Gewohnheit geworden ist, existiert noch keine brauchbare Form.

Die Normalien der Aufhängung sind aus Abb. 206 zu ersehen.

ζ. Befestigung (Abb. 204, 23).

Der Kessel nebst Kardan ist im allgemeinen um eine vertikale Achse drehbar angeordnet, um die sog. „A"-Korrektion, d. h. die Einrichtung des Steuerstriches

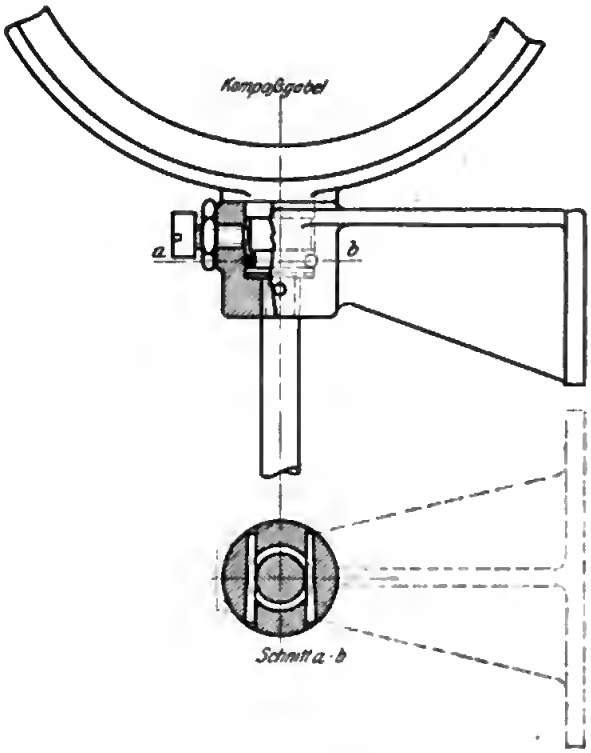


Abb. 207. Gabelbefestigung (Bamberg).

auf die Flugzeugachse bequem vornehmen zu können (siehe Abb. 207). Getragen wird er beim Rumpfkompaß meistens durch einen mit einer Grundplatte verbundenen Arm, bisweilen auch durch einen zweckmäßigeren, verhältnismäßig weiten Ring (z. B. Abb. 193). Die erwähnte Drehbarkeit ermöglicht eine Montage sowohl an den Seiten wie an den Querwänden. Bei dem zur Zeit weniger gebräuchlichen Tragflächenkompaß fällt der Tragarm fort und die „A"-Korrektion ist schon bei der Montage zu berücksichtigen.

η. Kompensierung (Abb. 204, *19*, *21*).

Um den für die Hilfsmagnete (21) benötigten Abstand von der Nadel zu gewinnen, werden sie auf einer vom Kesselboden oder vom Dreharm nach unten führenden Stange (19) montiert (auch Abb. 207). Die dadurch bewirkte Sperrigkeit des ganzen Geräts ist unzweifelhaft ein Fehler, den es zu bekämpfen gilt. Unsere Gegner verzichten aus diesem Grunde auf eine genauere Kompensation, indem sie sie entweder gänzlich fortlassen oder die Hilfsmagnete in bedenklicher Nähe der Nadel unterbringen. Auswege sind immerhin denkbar.

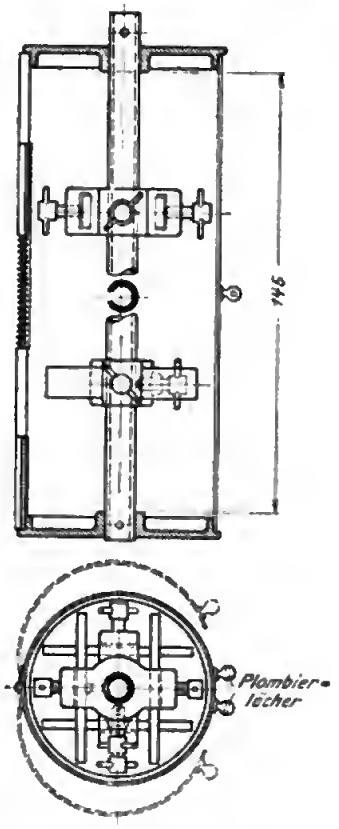


Abb. 208. Normalisierte Kompensierungsvorrichtung.

Organisch betrachtet, gehört der Kompensierungsmechanismus eigentlich nicht zum Kompaß, sondern zu den die Deformation des Magnetfeldes hervorrufenden Eisenmassen, d. h. zum Flugzeug. Ein Beweis dafür liegt in folgendem: Tauscht man einen Kompaß gegen einen anderen aus, so muß bei der gebräuchlichen Anordnung jedesmal eine neue Kompensierung vorgenommen werden. Hat man jedoch das Feld im Flugzeug durch ortsfeste Hilfsmagnete einmal kompensiert, so kann der Austausch ohne weiteres erfolgen. Das zu Erstrebende sind also ortsfeste Magnete, wie sie bei Tragflächenkompassen längst verwandt wurden. Zugleich bedeutet der Fortfall des Gestänges einen Gewichts- und Raumgewinn neben der auf diese Weise erzielbaren besseren Homogenität des Feldes.

Bei den heute benutzten Einrichtungen ist das System der Hilfsmagnete entweder fest am Tragarm oder gleichzeitig mit dem Kardan drehbar angeordnet. Der Vorteil des letzteren Verfahrens ist lediglich ein praktischer, kein grundsätzlicher. Beim Einbau erfolgt zuerst die „A"-Korrektion. Bei der späteren Kompensierung, die durch Vertikalverschiebung der Magnetpaare erfolgt, ist es vorteilhaft, wenn diese parallel bzw. rechtwinklig zur Flugzeugachse orientiert sind, weil dann in jeder Hauptstellung nur ein Magnetpaar verstellt zu werden braucht, wie die Vorschrift angibt. Die Güte einer einmal erzielten Kompensation ist dagegen unabhängig von der Orientierung der Magnete, wie aus obiger Betrachtung hervorgeht.

Die Normalisierung der in Betracht kommenden Teile ist aus Abb. 208 ersichtlich.

9. Kurszeiger und Außenteilung (Abb. 204, *24*).

Der der Navigation dienende Kurszeiger (*24*) wird entweder auf der Glasscheibe befestigt (Abb. 209), wobei eine Durchbohrung letzterer nötig wird, oder aber

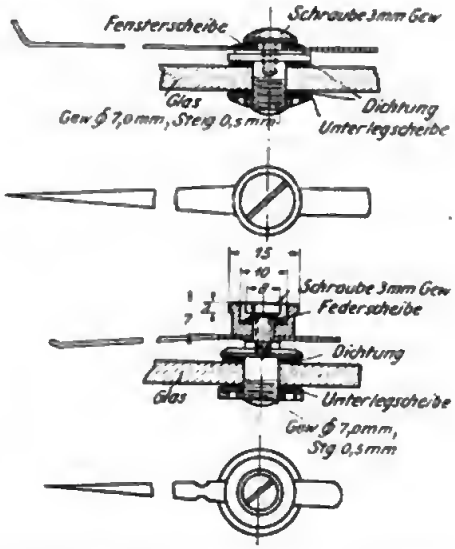


Abb. 209. Normalien des Kurszeigers.

vermittels Ringführung auf den Kessel gelegt. Da ein oberhalb der Glasscheibe befindlicher Zeiger von der Rose erheblich entfernt ist, wird die Parallaxe groß.

Abb. 210. Kurszeigereinrichtung (Bamberg).

Einen Ausweg versucht die in Abb. 210 dargestellte Anordnung. Der in der Flüssigkeit dicht über der Rose spielende Zeiger wird durch einen Knopf bedient, der sich durch eine Feder arretiert. Viel wird dadurch nicht erreicht, da der Zeiger

die Rose leicht stört und das Schaubild verdeckt wird. Die linksläufige Außenteilung (Abb. 211) soll im Gegensatz zur Rose von Grad zu Grad, mindestens aber von 5 zu 5° ausgeführt sein, da sie nur zu einmaliger, aber genauer Einstellung dient. Der Zeiger soll so wenig wie möglich von der Rose verdecken.

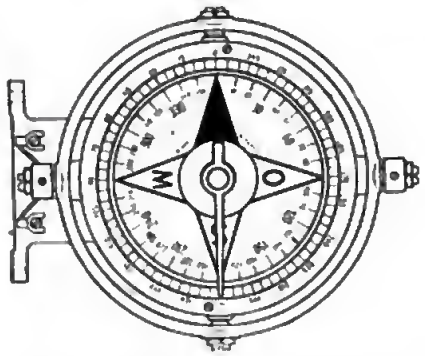


Abb. 211. Außenteilung (Normal).

ι. Beleuchtung (Abb. 204 13, *10*).

Die Erfahrung zeigt, daß Kompasse, die für Nachtflüge dienen, vorteilhaft mit einer eigenen Beleuchtung versehen werden, da die allgemeine Flugzeugbeleuchtung nicht ausreicht oder nur schwer in geeigneter Weise zu montieren ist. Die Normalisierung sah eine im Kesselboden, d. h. außerhalb der Flüssigkeit liegende Glühlampe vor. Es ergibt sich die Forderung, Teile der Trennungswand transparent auszugestalten. Es wird zugegeben, daß dadurch der Mechanismus reichlich verwickelt wird und sich neue Stellen für Undichtigkeiten ergeben. Außerdem werden transparente Rosen oder zum mindesten abgeschrägte Kesselwände erforderlich,

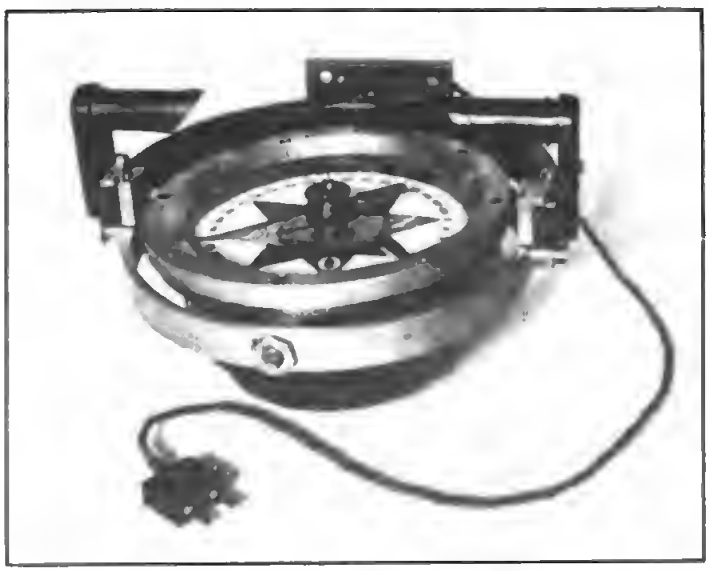


Abb. 212. Außenbeleuchtung (Sendtner).

die das Licht auf die Rose reflektieren; das Innere des Kessels ist außerdem weiß zu lackieren, wobei wegen etwaiger Trübung der Flüssigkeit auf geeigneten Lack zu achten ist. Die Versuche, an Stelle dessen bei undurchsichtigen Rosen spiegelnde Wände zu benutzen, ergaben Blendung durch die für den Strahlengang notwendigen Spalten zwischen Rose und Kessel. Alles in allem genügt diese bis heute verwandte Methode wohl bei durchscheinenden Rosen, nicht aber bei anderen. Einen Fort-

schritt brachte eine neuartige Anordnung, die die Glühlampe dicht neben die Rose (innerhalb des Kessels) verlegt. Fast alle genannten Mängel fallen dabei fort; jedoch ergibt sich durch den Dimensionszuwachs die Notwendigkeit, das Kardangehänge entweder größer zu gestalten oder umzubauen.

Die Glühlampe über dem Kompaß anzubringen, wie in Abb. 212, ist nicht zu empfehlen, da sie einen Teil der Sicht nimmt (namentlich bei gemeinschaftlicher Benutzung durch Führer und Beobachter), sperrig wird und leicht blendet.

Die Gefahr der Beeinflussung der Nadel durch Ströme ist durch Bifilarlegung der Drähte zu vermeiden. Die von der Lampe selber hervorgerufene Induktion ist zu vernachlässigen (keine Lampen mit gestrecktem Draht!). Die Zuführung der Drähte muß so erfolgen, daß sie die Beweglichkeit der Aufhängung nicht beeinflußt (weiche Litzen, die am besten am äußeren Kardanring in dicht nebeneinander liegenden Klemmen enden).

z. Füllflüssigkeit.

An die zur Füllung dienende Flüssigkeit werden folgende Bedingungen gestellt:

1. Kleine Viskosität (Zähigkeit).
2. Chemische Indifferenz gegen die benetzten Teile, Dichtungen und Lacke.
3. Gefrierpunkt unterhalb — 40° bis — 50° C.
4. Siedepunkt oberhalb + 50°.
5. Farblosigkeit.

Von Bedeutung sind ferner: Spez. Gewicht und Ausdehnungskoeffizient; in praktischer Hinsicht: Beschaffbarkeit. Nur wenige Flüssigkeiten erfüllen diese Bedingungen einigermaßen. Es seien erwähnt: Azeton (?)[1]), Äthylalkohol (verdünnt), Toluol, m-Xylol (?), Methylalkohol, Methyläthylketon (?), Amylalkohol (?), Petroleum. Im folgenden seien einige Zahlenwerte über diese Stoffe angegeben.

Tabelle 1.

	Schmelzp.	Siedep.	Spez. Gew.	Ausd.-Koeff.	Spez. Zähigk. bei 10°	Temp.-Koeff. der Zähigk.
Azeton	— 94,6	56,1	0,80	0,001487	24	0,011
Methylalkohol	— 97,8	64,7	0,81	0,001259	40	0,016
Äthylalkohol	—117,6	78,4	0,80	0,001101	85	0,020
Propylalkohol	?	97,2	0,82	0,00096	170	0,028
Amylalkohol	—134,0	131,0	0,81	0,00090	366	0,035
Methyläthylketon . . .	— 85,9	79,6	0,83	0,001315	?	?
Toluol	— 92,4	110,7	0,88	0,0011	38	0,017
m-Xylol	— 54,8	139,2	0,86	0,0010	42	0,016

Daraus ergibt sich die Brauchbarkeit des Azetons, ferner der niedrigen Alkohole (Äthyl-, Methyl-), dagegen besitzt Propyl- und noch mehr Amylalkohol eine zu große Zähigkeit, die infolge ihres großen Temperaturkoeffizienten bei tiefen Temperaturen stark wächst. Außerdem scheinen aber Toluol und Metaxylol durchaus

[1]) bedeutet: noch nicht erprobt.

brauchbar zu sein. Die Materialbeschaffungsfrage ermöglichte es nicht, während des Krieges hierüber Versuche anzustellen. Man entschied sich im allgemeinen für Äthylalkohol, den man jedoch aus Sparsamkeitsrücksichten, teils auch wegen der Einwirkung auf Lacke und Dichtungen in verdünnter Form anwandte. Hierüber gibt die folgende Tabelle Näheres.

Tabelle 2.

Äthyl-alkohol in %	Spez. Zähigkeit bei 20°	Spez. Zähigkeit bei 0°	Schmelzpunkt	Siedepunkt
99,2	73	107	—117,6	78
78	117	173	— 76	80
62	146	208	— 53	81
46	163	251	— 34	86
40	162	250	— 29	88
20	126	186	— 12	94
0	58	100	0	100

Aus dieser Tabelle ergibt sich, daß man bei einer Minimaltemperatur von — 40° etwa 50 %, bei einer solchen von — 50° etwa 60 % Alkohol verwenden muß. Nun liegt aber das Zähigkeitsmaximum etwa bei 50 %, d. h. gerade an derselben Stelle. Eine derartige Mischung wird tatsächlich schon bei geringeren Kältegraden derart zäh, daß die Schwingungsdauer der Nadel erheblich wächst. Sowohl aus diesem als auch den oben erwähnten Gründen sollte man eine Lösung von 30 % nicht überschreiten; ein Einfrieren (— 20° C bei 30 %) ist dann aber während der kalten Jahreszeit nicht ausgeschlossen und des öfteren eingetreten, namentlich wenn der Kompaß nicht im Rumpf untergebracht war. Aus allem geht hervor, daß Alkohol noch nicht als ideales Füllmittel gelten kann.

Dazu kam noch ein äußerer Umstand; es stellte sich nämlich heraus, daß Unberufene solche Füllungen bisweilen entwendeten, um sie als Genußmittel zu gebrauchen. Eine Vergällung mit bekannten Mitteln ist jedoch nicht zweckmäßig; Pyridinbasen erhöhen die Zähigkeit und führen zur Verschmutzung; Zusätze, die ohne weitere Wirkungen lediglich den Geschmack verderben, gibt es nicht viele, wenn man direkte Gifte oder solche Substanzen, die unangenehm riechen, vermeiden will.

Die Gesellschaft für nautische Instrumente verwendet ein Petroleum amerikanischer Herkunft (Gefrierpunkt unter — 70°), dessen andere Daten hier nicht mitgeteilt werden können. Es ist fast wasserklar und besitzt einen tiefen Schmelzpunkt, aber auch eine nicht unbeträchtliche Zähigkeit. Immerhin hat es sich gut bewährt. Erschwert ist lediglich seine Beschaffung. Außerdem neigt es dazu, sich zu trüben, namentlich bei Gegenwart minderwertiger Dichtungsmittel und Lacke; aber auch verdünnter Alkohol ist in dieser Beziehung gefährlich. Eine Rektifizierung des Petroleums setzte die Verwendbarkeit herauf.

λ. Heizung.

Die unter x angeführten Gesichtspunkte sowohl wie das lästige Beschlagen der Scheibe legten die Frage nahe, ob sich nicht eine Heizung des Kompasses ermög-

lichen ließe. Als Wärmequelle käme in Frage: Akkumulatoren, Generatoren, Auspuffgase, Kalziumkarbid oder Kalk. Die gebräuchlichen Beleuchtungsakkumulatoren würden sich jedoch zu rasch erschöpfen, während ausreichende Kapazität wieder unnötiges Gewicht erfordert. Am nächstliegenden ist der Anschluß an einen der meistens vorhandenen Generatoren, worauf wir bei Betrachtung der Stromquellen im Flugzeuge später zurückkommen werden. Chemische Mittel zur Heizung können immer nur einen Notbehelf darstellen.

Zur Verzögerung der Auskühlung kann eine entsprechende wärmeisolierende Packung dienen, wovon im Auslande vielfach Gebrauch gemacht wurde. Für kürzere Zeiten sind derartige Packungen ganz wirksam. In Verbindung mit einer Heizung, zu der in diesem Falle wahrscheinlich der normale Akkumulator ausreicht, ließe sich wohl ein Erfolg erzielen. Der Gedanke liegt nahe, die Beleuchtungseinrichtung des Kompasses gleichzeitig zu seiner Heizung zu verwenden.

b) Besondere Magnetkompasse mit vertikaler oder schräger Aufsicht.

α. Kompasse mit Spiegeln und Glasprismen.

Unsere Gegner versuchten, die seitliche Ablesung des gewöhnlichen Kompasses durch Anbringung von Spiegeln oder Glasprismen dicht über dem Steuerstrich zu lösen. In diesen erscheint dann lediglich die der jeweiligen Fahrtrichtung entsprechende Gradzahl und ihre nächste Umgebung. Darin liegt aber ein Nachteil; die Gradzahl allein sagt dem Ablesenden meistens nicht viel, da ihre Übersetzung in eine Richtungsvorstellung ziemliche Gedankenarbeit beansprucht. Auch verschiedenartige Farbgebung der einzelnen Sektoren hilft nur wenig. Außerdem ist bei allen diesen bekannt gewordenen Modellen die Sichtbarkeit wenig günstig. Aus dem Grunde haben sie sich bei uns nicht eingeführt, dienten aber als Ausgangspunkt für den später zu besprechenden „Spiegelkompaß".

β. Kompaß mit Flüssigkeitsbrechung.

Ein weiterer, nicht uninteressanter Versuch unserer Gegner besteht darin, das Bild der horizontalen Rose durch Strahlenbrechung etwas schräg zu legen. Das hierzu nötige Prisma wird durch die schiefgelegte Abschlußscheibe und die Füllflüssigkeit gebildet. Die Rosenebene erscheint um etwa 20° gegen den Beschauer geneigt. Der Vorteil gegenüber den vorher erwähnten Anordnungen liegt in der Sichtbarkeit der ganzen Rose. Auch diese Form wurde von uns nicht benutzt, da die erzielte Neigung der Fläche immerhin nur gering ist.

γ. Glockenkompaß (C. Bamberg).

Bei diesem Gerät (Abb. 213) ist das Rosenblatt sowohl wie das Deckelglas als Halbkugelschale ausgebildet. Die Sicht ist infolgedessen recht gut. Es besitzt jedoch einen eigenartigen Nachteil. Da nämlich auf seitliche Ablesung gerechnet wird, ist das Rosenbild invers (wie bei Trommelkompassen, siehe später) ausgeführt; so weist z. B. bei Flug nach Norden der Nordstrich auf den Beobachter hin. Benutzt man

diesen Kompaß also mit senkrechter Aufsicht, wozu seine Bauart verleitet, so erscheint die Windrose um 180° versetzt, führt also leicht irre. In technischer Beziehung ist er durchaus brauchbar; einen Schönheitsfehler bedeutet die bei Flüssigkeitsverlust in der Glocke sich bildende Luftblase.[1])

Abb. 213. Glockenkompaß (Bamberg).

δ. Trommelkompaß.

Anfänglich überwiegend von der Entente benutzt, wurden die Trommelkompasse neuerdings von uns weiter entwickelt und können zur Zeit als beliebteste Formen gelten, wenn auch das Bedenken der nur teilweisen Sichtbarkeit der Skala bestehen bleibt. Eine englische Ausführung ist in Abb. 214 dargestellt; die neuere deutsche Form zeigen (nach Neuber) Abb. 215 bis 218. Letztere enthält neben der horizontalen, in der Abb. 217 schlecht sichtbaren Rose eine vertikale Trommelskala, die durch ein seitlich vorgebautes Fenster betrachtet wird. Der Vorteil mehrerer Skalen liegt darin, daß bei geeigneter Montage (z. B. seitlich des Führers in Schulterhöhe) sowohl Führer wie Beobachter abzulesen vermögen. Die in der Abb. 216 sichtbare Krempe der Skala dient in Verbindung mit einem geschweiften Steuerstrich zu genauerer Peilung unter Vermeidung der Parallaxe.

Die anderen Elemente dieses Kompasses weichen nicht wesentlich von denen des normalen ab. Der Abstand zwischen oberer Rose und Deckglas ist ziemlich groß, um einen weiteren Kippwinkel zu erzielen; dadurch kann das Kardangehänge als entbehrlich fortgelassen werden. Gegnerische Kompasse dieser Art besitzen nur seitliche Ablesung und infolgedessen beliebig große Kippwinkel; sie sind nie im Kardan befestigt, sondern lediglich durch Filzeinlagen halbstarr verschraubt (Abb. 214). Man kann Trommelkompasse gleichzeitig als Neigungsmesser benutzen,

[1]) Siehe auch: Pioneer aircraft instruments, Aerial Age Weekly **11**, 257—258 (1920).

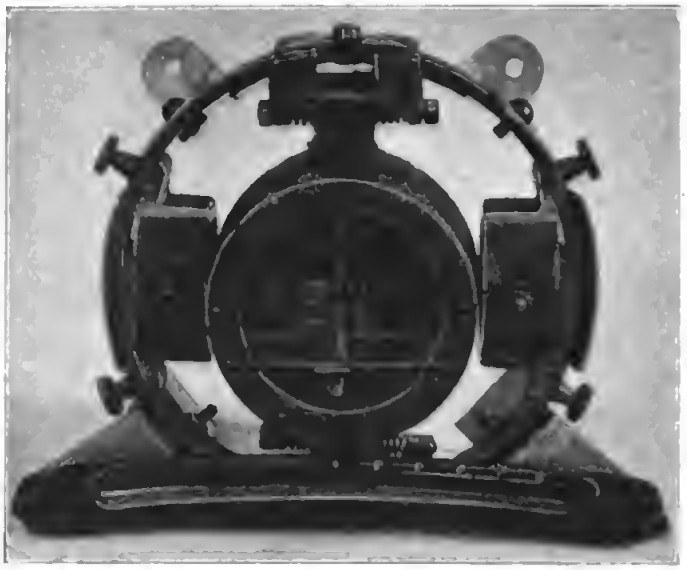


Abb. 214. Englischer Trommelkompaß.

Abb. 215. Trommelkompaß (Ludolph) nach Dr. Neuber.

Digitized by Google

Abb. 216. Trommelkompaß (Ludolph) nach Dr. Neuber.

Abb. 217. Trommelkompaß (Ludolph) nach Dr. Neuber.

zu welchem Zweck auf dem Fenster eine Horizontale markiert ist, die normalerweise mit dem Rosenrand zusammenfällt. Die Erfahrung zeigt, daß eine solche Kombination vom Flieger als zweckmäßig empfunden wird. Auch Kulissen (Abb. 218) sind brauchbar.

Nicht verschwiegen werden soll, daß die magnetischen Eigenschaften des schwingenden Systems bei ausländischen Fabrikaten weit günstiger waren, als bei unseren Konstruktionen; ein Grund lag im Materialmangel, ein anderer in der nur langsamen Erkenntnis der Wichtigkeit eines kleinen Trägheitsmoments.

Ein Nachteil jedes Trommelkompasses besteht darin, daß immer nur höchstens ein Quadrant der Rose sichthar ist; das Sichtfenster muß also so groß wie möglich gestaltet werden. Eine neue Form (Gesellsch. f. nautische Instrumente, Abb. 218)

Abb. 218. Trommelkompaß (Ges. für Nautische Instrum.).

erfüllt diese Bedingung noch besser; interessant an diesem Modell sind weiterhin die Methoden der Beleuchtung und der Kompensation, welch letztere Ähnlichkeit mit englischen Modellen aufweist.

Ein weiterer Nachteil des Trommelkompasses liegt darin, daß die Beschriftung der Rose von der Einbaurichtung (Orientierung des Fensters zur Flugzeugachse) abhängig ist, d. h. ein seitlich neben dem Beobachter montierter Kompaß muß eine um 90° gedrehte Rose gegenüber einem frontal eingebauten besitzen.

ε. Der „Spiegelkompaß".

Während unter α dieses Abschnitts Kompasse behandelt sind, bei denen nur einzelne Teile der Rose gespiegelt werden, handelt es sich hier um eine vom Verfasser angegebene Konstruktion (Abb. 219), bei der die ganze Rose reflektiert wird. Man hatte bisher davon abgesehen, weil eine solche Spiegelung gleichzeitig eine

Umkehrung des Rosenbildes zur Folge hat, was zu einer Täuschung für den Ablesenden führen könnte. Hier wird gerade diese Eigenschaft dazu benutzt, um eine Anzeige nicht eigentlich der Himmelsrichtung, sondern des Kurses selber zu erhalten. Dazu ist es nötig, außer der spiegelbildlichen Umkehrung noch eine zweite Vertauschung vorzunehmen; für den Frontalkompaß wird nämlich nicht der Nord-, sondern der Südpol der Rose als Kurspfeil markiert (für einen seitlich montierten Kompaß der Ost- resp. Weststrich). Man erreicht dadurch folgendes: Das Bild der festen Rose liegt schräg vor dem Beobachter und ist sinngemäß orientiert (Norden oben, Osten rechts usw.), während das darüber spielende Bild des Kurspfeils den tatsächlichen Kurs entsprechend einer Landkarte weist. Damit ist jede Gedankentätigkeit unnötig und der Kompaß dient direkt zur Navigation.

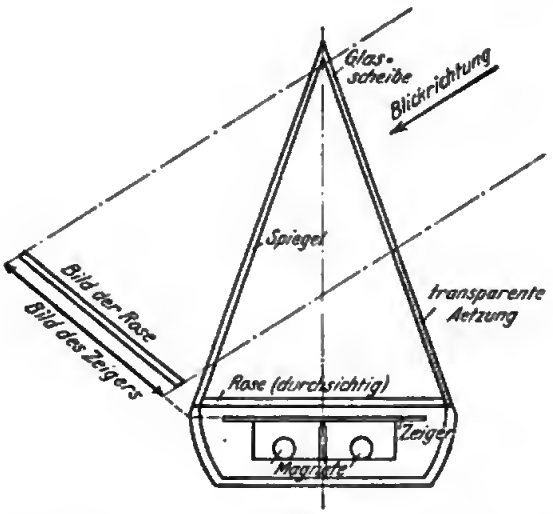


Abb. 219. Prinzip des Spiegelkompasses nach Bennewitz.

c) Fernübertragung bei Kompassen.

α. Mittel zur Fernbedienung von Kurszeigern.

Den Übergang zum eigentlichen Fernkompaß bilden Vorrichtungen, die eine Bedienung des von Hand aus nicht erreichbaren Kurszeigers ermöglichen. Solche Übertragungen können im Flugzeug erfahrungsgemäß nur unstarr ausgeführt werden, da die Durchbiegungen des Flugzeuggerippes nicht unbeträchtlich sind. Brauchbar sind gebrochene Wellen mit Kardangelenken oder um Scheiben gelegte Stahlkabel; weniger gut sind (Doppel-) Bowdenzüge, unbrauchbar ist Spiralfederübertragung.

β. Der „Selenkompaß".

Die geringe Direktionskraft der Magnetnadel ist nicht imstande, mechanische Übertragungen zu betätigen. Um nun die Stellung der Nadel in bezug zur Rose in die Ferne zu übermitteln, kann man auch den Vorgang umkehren; man dreht nämlich die Rose durch menschliche Kraft mit Hilfe einer der unter α angegebenen

Methoden so lange, bis Koinzidenz von Nadel und Rosennullrichtung erreicht ist. Es ist dann nur noch ein Mittel nötig, durch das man diese Koinzidenz feststellen kann, ohne die magnetische Funktion der Nadel hierdurch zu beeinflussen. In einfachster Weise erreicht man dies durch Verwendung eines masselosen Lichtstrahls, der eine Selenzelle trifft. Diesen Weg beschritt die Firma Bamberg (Abb. 220 *a*—*e*).

Läßt man eine segmentförmig ausgebildete Nadel (*e*) über zwei nebeneinander liegenden Selenzellen (*d*) spielen, so wird abwechselnd die eine oder die andere Zelle belichtet; nur in der Nullstellung werden beide gleichzeitig verdunkelt. Liegen

Abb. 220a.
Selenkompaß, Kessel (Bamberg).

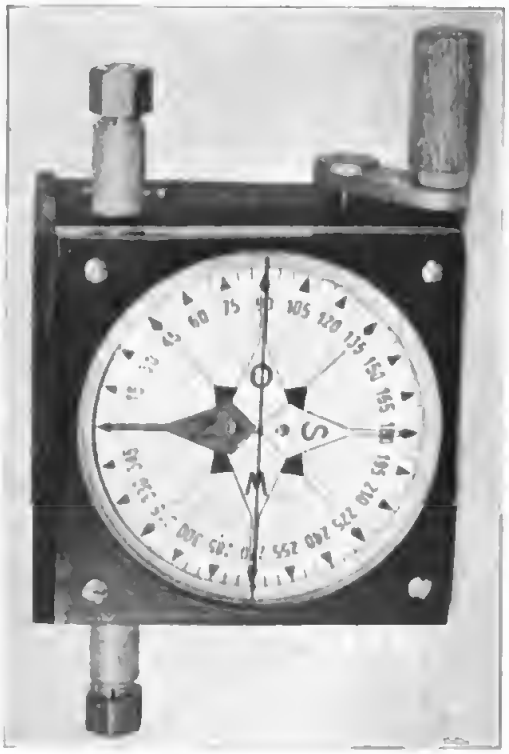


Abb. 220b.
Selenkompaß, stellbare Rose (Bamberg).

nun die beiden Zellen als Zweige in einer Brückenschaltung, so zeigt das Galvanometer in letzterem Falle Null. Die beiden Zellen lassen sich gemeinsam um ihren Mittelpunkt drehen, so daß willkürlich jede Himmelsrichtung zur Nullstellung gemacht werden kann.

Um das Verfahren praktisch zu verwenden, verfährt man folgendermaßen. Der Beobachter besitzt eine verstellbare Rose (*b*), die bei ihrer von Hand ausgeführten Drehung den Kessel nebst Selenzellen (*a*) des entfernt aufgestellten Kompasses zwangläufig mitbewegt; außerdem beobachtet er den Ausschlag eines in der Brückenschaltung liegenden, vor ihm befindlichen Galvanometers (*c*). Zeigt dieses Null, so sind die Magnetnadeln, die Selenzellen und die Rose des Beobachters gleichgerichtet, d. h. die letztere ersetzt das Kompaßbild. Die Firma Bamberg hat ein

Digitized by Google

solches Instrument durchgebildet und ist dabei noch einen Schritt weitergegangen, indem sie die Stellrose dem Beobachter bzw. dem Kommandanten des Großflugzeugs gibt, das Galvanometer aber dem steuernden Piloten. Dadurch wird das Gerät gleichzeitig zu einem Befehlsübermittler; der Kommandant stellt die zu steuernde Himmelsrichtung ein, der Pilot befolgt sie durch Steuerung bis zur Nulleinspielung seines Zeigers, der schon bei geringen Abweichungen vom Kurs entsprechende Ausschläge gibt. Der wesentlichste Vorteil dieser Einrichtung liegt in der Möglichkeit, den Kompaß selber an beliebiger Stelle fern von Eisenmassen unterzubringen.

Abb. 220c.
Selenkompaß, Nullzeiger (Bamberg).

Das Gerät hat sich bisher gut bewährt, dürfte aber nur bei Großflugzeugen in Betracht kommen. Es sollen noch einige Gesichtspunkte Erwähnung finden, die bei einem weiteren Ausbau zu berücksichtigen wären.

1. Verteilt man die Funktionen der Beteiligten in der zuletzt angegebenen Weise, so hat einerseits der Kommandant kein Mittel, um zu erkennen, ob und in welchem Grade sein Befehl ausgeführt ist; es ist daher wünschenswert, daß diesem ein zweites Anzeigeinstrument (Galvanometer) gegeben wird. Die mit der Stromteilung (Spannungsteilung) verknüpfte Herabsetzung des Ausschlags muß durch gesteigerte Empfindlichkeit ausgeglichen werden.

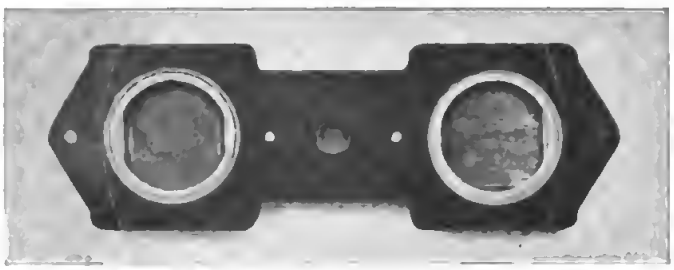


Abb. 220d. Selenkompaß, Selenzellen (Bamberg).

2. Andererseits kann aber auch der Pilot sich nicht über den augenblicklich befolgten Kurs orientieren, da der Anzeiger ihm nur mitteilt, ob er richtig oder falsch fliegt. Um ihm dies zu ermöglichen, könnte man ihm eine weitere Rose geben, die mit der Stellrose des Befehlenden mechanisch gekuppelt ist.

3. Der Ausschlag des Galvanometers war anfänglich so gedacht, daß ein Ausschlag nach rechts dem Piloten den Befehl gab, rechts zu steuern; damit hätten wir ein Befehlsinstrument. Nachdem aber auch die Marinefliegerei, der dies Ver-

fahren nahelag, davon abgegangen ist, sollte allgemein die Schaltung so durchgeführt sein, daß der Ausschlag als Anzeige aufzufassen ist, daß also einem Aus-

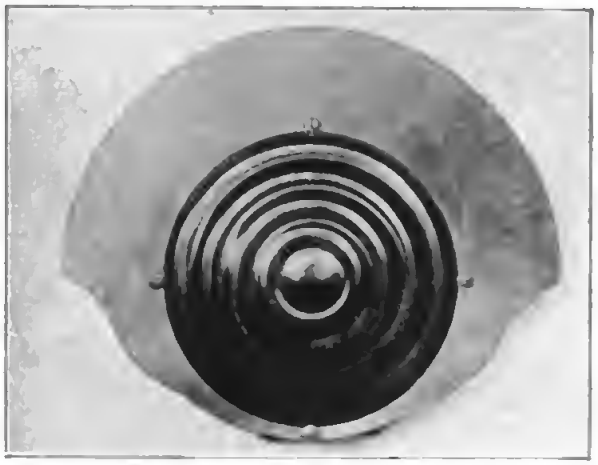


Abb. 220e. Selenkompaß, Nadel (Bamberg).

schlag nach rechts eine Steuerkorrektur nach links erfolgt. Diese Methode ist erfahrungsgemäß die natürlichere. Sie ändert am Apparat selber nichts.

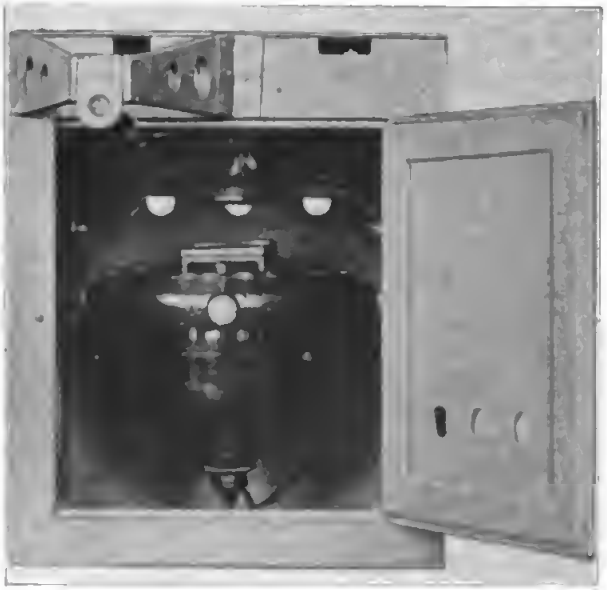


Abb. 220f. Selenkompaß, Gehäuse (Bamberg).

4. Bei der gegebenen Konstruktion des Apparats ist ein „Schönheitsfehler" unvermeidlich. Das Galvanometer spielt nämlich nicht nur in der wahren Nullstellung der Selenzellen ein, sondern auch bei einer Drehung derselben um 180°; in diesem Falle kehrt sich dann die Ausschlagsrichtung um. Wenn auch der intelli-

gente Führer dadureh aufmerksam werden sollte, liegt doch immerhin die Möglichkeit eines Fehlers vor, der bei einem so anspruchsvollen Instrumente, wie es der heutige Selenkompaß ist, vermieden werden müßte. Diese Aufgabe scheint jedoch auf Schwierigkeiten zu stoßen.

5. In Anbetracht des komplizierten Mechanismus ist mit einem gelegentlichen Versagen des Selenkompasses zu rechnen (Aussetzen der Lichtquelle, Leitungsdefekte usw.). Dieser Umstand und der unter 4 erwähnte machen das Mitführen eines gewöhnlichen Ersatzkompasses notwendig.

6. Der Selenkompaß eignet sich gut zu einer Kombination mit einem später zu besprechenden Prinzip (siehe Reisekompaß, S. 187), wodurch er zum Navigationsinstrument unter Berücksichtigung der Windabtrift wird.

γ. Induktionskompaß.

Eine weitere Möglichkeit für einen Fernkompaß liegt in der Verwendung des Erdinduktors. Da auf diesem Gebiete nur Laboratoriumsversuche vorliegen, soll nur in Kürze darauf eingegangen werden, zumal sich im Kapitel Neigungsmesser (S. 151) bereits einiges darüber findet.

Läßt man eine vertikale Drahtspule um ihren lotrechten Durchmesser im Erdfelde rotieren, so entsteht in ihr ein Wechselstrom. Versieht man diese Vorrichtung[1]) mit einem Kommutator, dessen Bürsten in einer horizontalen Ebene verstellbar sind, so wird das an einem Hitzdrahtinstrument gemessene Stromintegral abhängen von dem Azimut, unter dem die Bürsten anliegen. Sind letztere nun mit dem Flugzeug starr verbunden, so ist die Stromstärke ein Maß für die Deklination, d. h. wir haben einen Kompaß vor uns. Die Fernübertragung ist hier von selber gegeben. Die Herstellung einer konstanten Drehzahl, einwandfreier Kollektoren und einer dauernd horizontalen Lagerung des Induktors stellt neue technische Aufgaben.

Auch dieses Instrument ist in seiner Anzeige nicht eindeutig, insofern jeder Stromstärke zwei Deklinationen entsprechen (Horizontalflug vorausgesetzt). Zudem bringt jede Neigung der Bürstenebene noch Inklinationswirkungen hervor, die die Anzeige fälschen; ob somit der Apparat Aussicht auf Erfolg hat, läßt sich zur Zeit noch nicht übersehen.

δ. Weitere Vorschläge für Fernkompasse.

Denkt man sich die Rose in Sektoren zerlegt und beschränkt sich auf die Übermittlung derjenigen, über dem die Kompaßnadel jeweilig spielt, so kann man die Übertragung durch elektrische Widerstandsmessung ausführen. Ein solches Schema gibt Abb. 221.

Die Nadel *a* schwingt über den metallischen Segmenten *b*, die durch Widerstände *c* miteinander verbunden sind. Die Leitung trete bei *a* ein und bei *d* aus. Im Moment der Ablesung wird die Nadel durch eine Art Arretierung auf eins der Segmente gedrückt. Die Größe des eingeschalteten Widerstandes kann dann auf

[1]) Nach einem Vorschlag von Professor Fry, Leipzig.

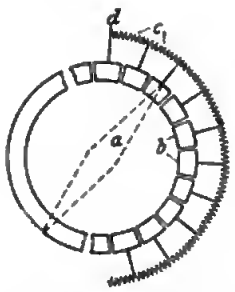


Abb. 221. Fernkompaß mit Sektoren.

bekannte Weise gemessen werden. Instrumente dieser Art sind bisher nicht erprobt worden. Ihr Vorteil liegt in der Eindeutigkeit der Anzeige, ihr Nachteil in ihrer Sprunghaftigkeit. Anstatt Widerstände einzuschalten, kann auch jeder Sektor mit einer Sonderleitung versehen werden. Um bei dieser Anordnung die zeitweise Arretierung zu vermeiden, kann man z. B. die elektrische Überbrückung zwischen Nadel und Sektor durch Hochspannungsfunken vornehmen. Endlich kann man auch an Quecksilberkontakte denken. Durch den Selenkompaß scheinen aber alle diese Verfahren übertroffen zu sein.

d) Navigationskompasse und -verfahren.

α. Kursschieber (Winddreiecke).

Jeder der oben beschriebenen Kompasse kann unter Zuhilfenahme von Kursschiebern zur Navigation dienen. Solcher Schieber sind verschiedene in Gebrauch; der einen oder anderen Form den Vorzug zu geben, ist kaum möglich, da es hier auf Übung und Gewohnheit des einzelnen ankommt. Grundsätzlich sind Tabellen im Fluge unzweckmäßig, namentlich wenn sie einen größeren Umfang erfordern;

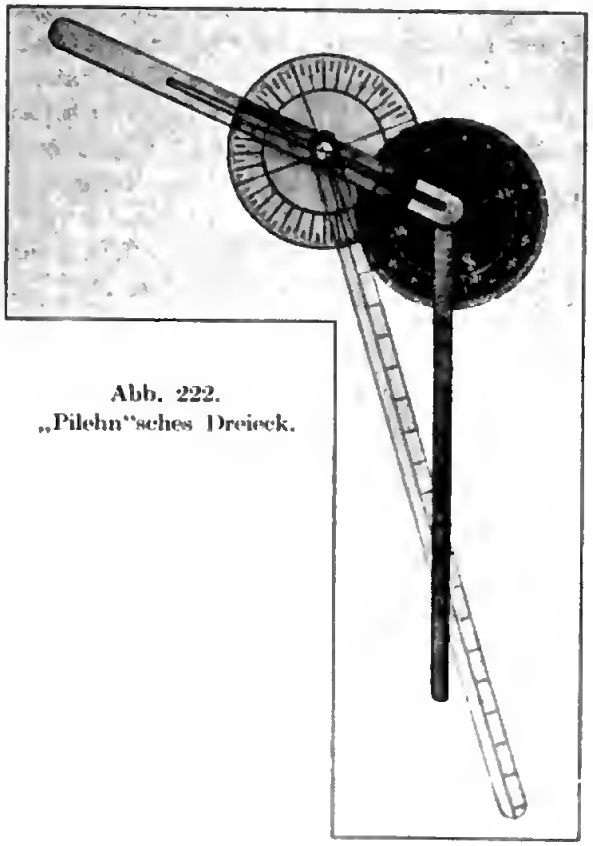


Abb. 222. „Pilehn"sches Dreieck.

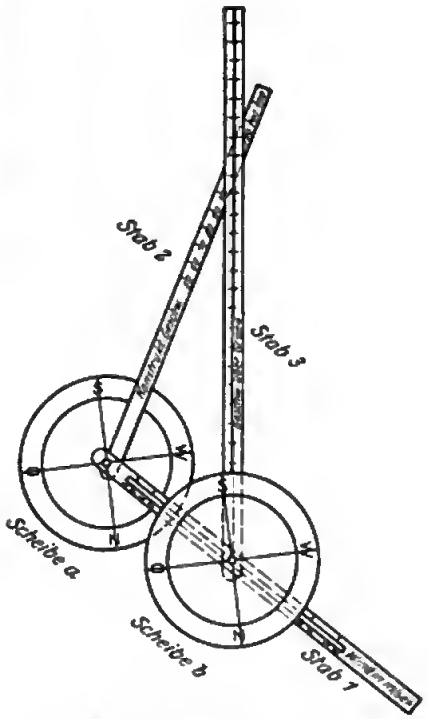


Abb. 223. „Pilehn"sches Dreieck. Scheibe a: Steuerwinkel; Scheibe b: Kurs.

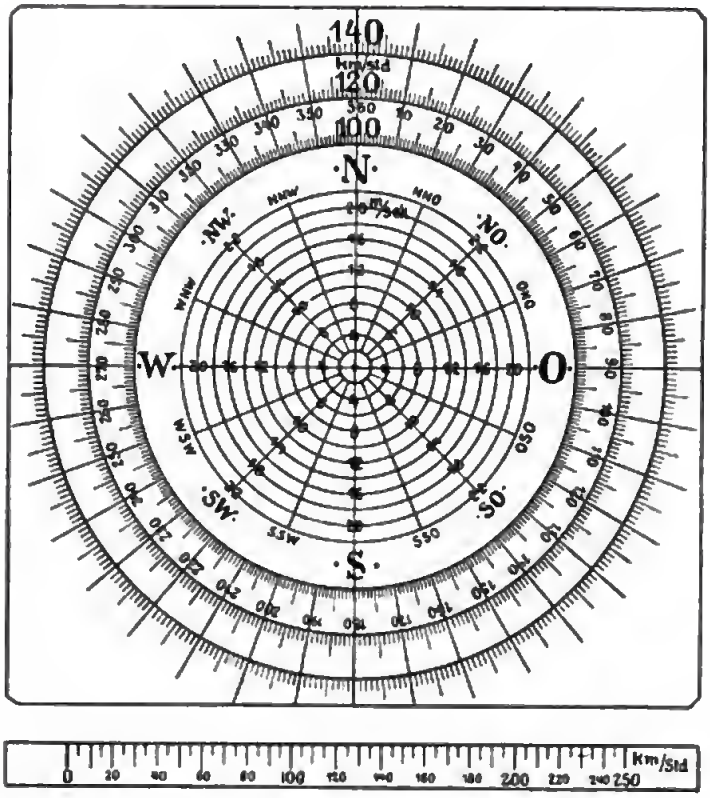


Abb. 224. Kursschieber (Wichmann).

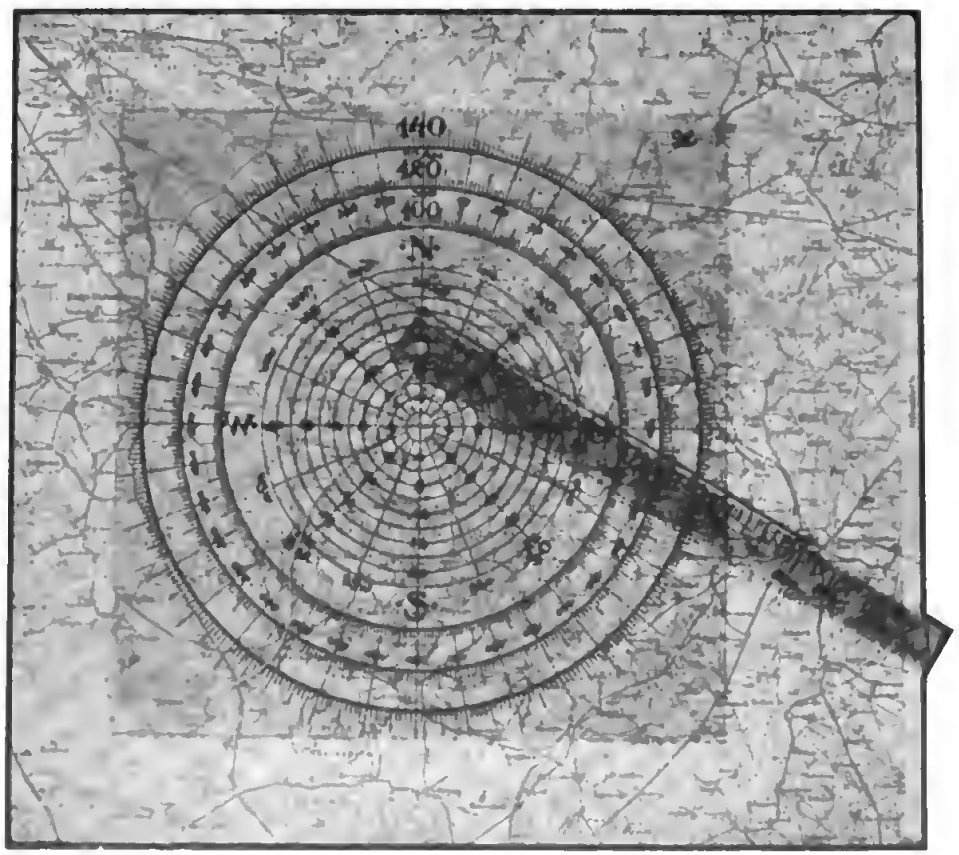


Abb. 225. Anwendung des Winddreiecks (Wichmann).

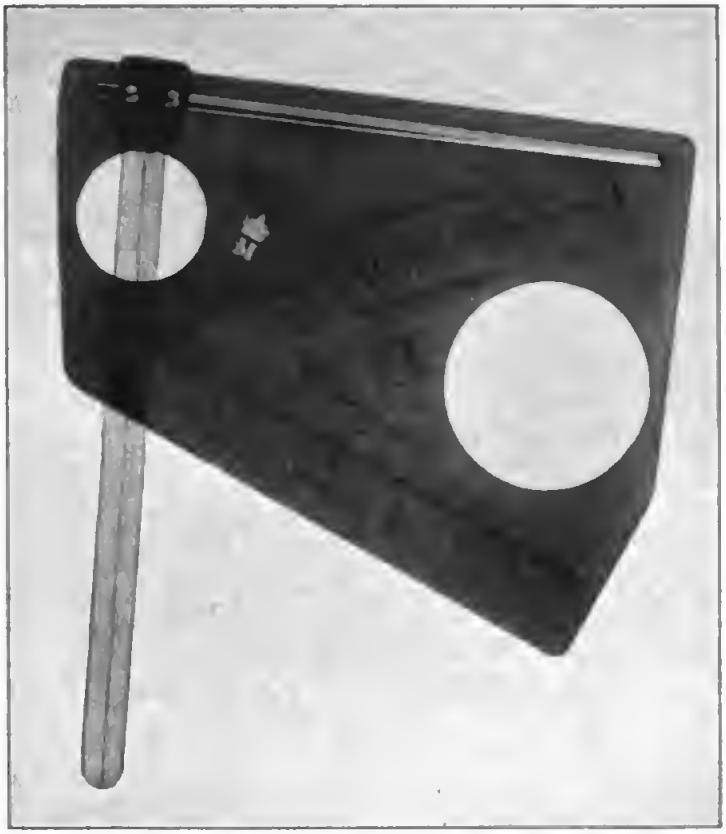


Abb. 226. Winddreieck (Goerz).

dies wäre hier der Fall, da es sich um die vier Komponenten Kurs, Fluggeschwindigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit handelt. Die verwandten Hilfsmittel sind deshalb sämtlich geometrischer Natur. In Abb. 222—226 sind eine Anzahl solcher Kursschieber dargestellt.

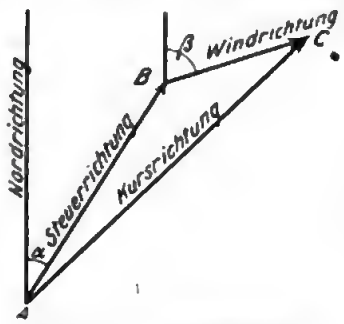


Abb. 227. Winddreieck.

Auf ihre Bedienung im einzelnen kann hier nicht eingegangen werden. Immer handelt es sich aber um die Darstellung des sog. „Winddreiecks" mit Hilfe beweglicher Lineale. Man versteht darunter (siehe Abb. 227) das Dreieck ABC, wobei AB die Steuerrichtung und Eigengeschwindigkeit, BC den Windvektor und AC den resultierenden Kurs bezeichnet. Man erhält damit einerseits den Steuerwinkel α, andererseits die Kursgeschwindigkeit AC.[1])

[1]) Siehe auch: W. Immler, Ein Universaldiagramm zur Lösung des Winddreicks, Ann. d. Hydr. **46**, 370—377 (1918).

β. Der Reisekompaß.

Es liegt nun nahe, derartige Kursschieber direkt mit dem Kompaß zu verschmelzen, was in dem vom Verfasser angegebenen „Reisekompaß" geschieht. Sein Prinzip ist folgendes (siehe Abb. 228): Es sei A der Mittelpunkt einer im Flugzeug festgelegten inversen Rose, C der Drehpunkt der Magnetnadel M und D ein auf ihr markierter Punkt. Richtet man nun AC so ein, daß es einerseits die Windrichtung (AC) angibt, andererseits seiner Größe nach dem Verhältnis von Wind- zu Eigengeschwindigkeit proportional ist, so ergibt sich ACD als das Winddreieck, d. h. AD zeigt den wahren Kurs nach Richtung und Geschwindigkeit auf der festen Rose.

Es kommt also darauf an, den Mittelpunkt der Nadel M gegenüber der festen Rose beweglich zu machen, und zwar derart, daß die dazu nötige Ver-

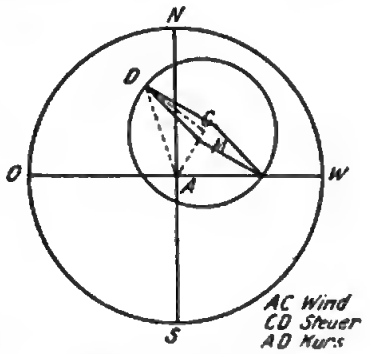


Abb. 228. Schema des Reisekompasses nach Bennewitz.

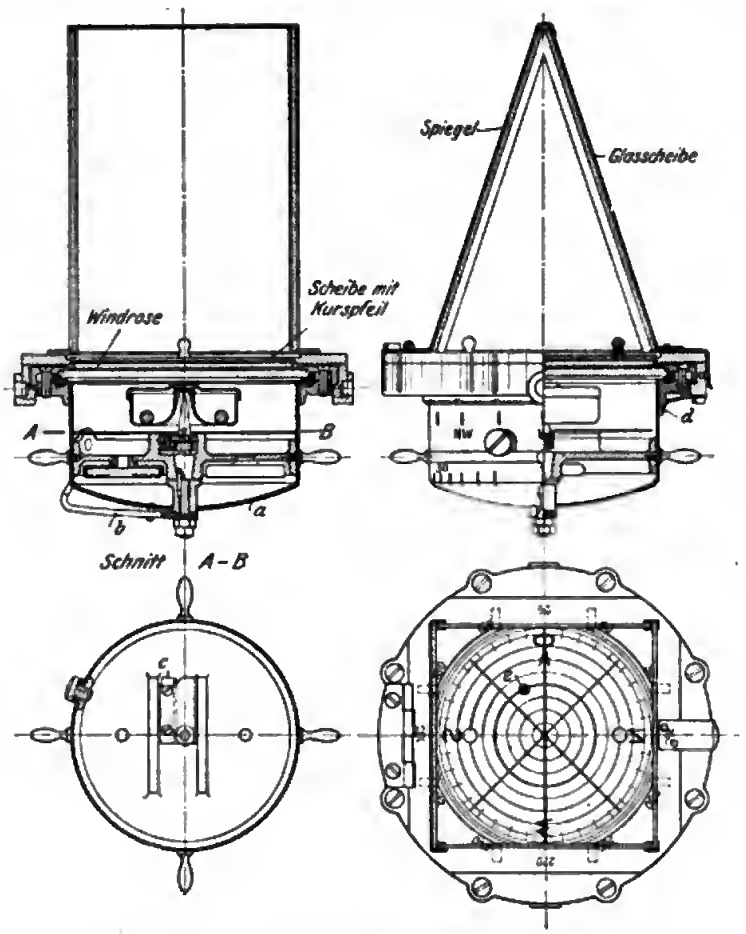


Abb. 229. Reisekompaß nach Bennewitz (Bamberg).

schiebung sich aus den beiden Komponenten Windrichtung und relativer Windgeschwindigkeit (bezogen auf Eigengeschwindigkeit) zusammensetzen läßt. Die ausgeführte Form (Abb. 229) leistet das dadurch, daß unter dem Boden des Kessels *a* ein Hebel *b* angebracht ist, der vermöge eines Triebes *c* eine radiale Verschiebung (entsprechend der Größe *AC*, Abb. 228) vornimmt, und daß außerdem der ganze Kompaßkessel, abgesehen von der festen Rose, um seine vertikale Achse drehbar ist (entsprechend dem Windwinkel). Ist einmal die Einstellung für bestimmte Winddaten am Zeiger *a* und am Hebel *b* erfolgt, so weist die Marke *e* für jede beliebige Flugrichtung den Kurs und die ihm entsprechende Reisegeschwindigkeit über Boden. Ein Kurswechsel hat also keine Bedienung des Mechanismus zur Folge, im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Kursschieber, der jedesmal bei einem solchen zu Rate gezogen werden muß. Hierin liegt die Überlegenheit des Geräts.

Um die Anzeige noch richtungstreu zu machen, wurde das Instrument mit dem oben angeführten „Spiegelkompaß" (siehe dieses Kapitel Seite 178) verschmolzen. Dadurch wird nun völlige Koinzidenz des Zeigers mit dem auf der Karte etwa notierten Kurse erzielt. Der erste Schritt zum Universalnavigationsgerät ist damit getan, insofern dieses Instrument unter Benutzung der konzentrischen Ringe der Rose auch gleichzeitig die Reisegeschwindigkeit abzulesen gestattet.

Übrigens läßt sich das hier behandelte Prinzip auch auf den Selenkompaß (siehe Seite 179) übertragen; hierbei führt es in technischer Hinsicht sogar zu einer wesentlichen Vereinfachung. Man kann nämlich den „Dreiecksmechanismus" direkt in den Geber (Rose) verlegen, so daß die Kompaßkonstruktion davon unberührt bleibt.

γ. Der Abtriftkompaß der Pfadfindergesellschaft.

Die unter α und β beschriebenen Verfahren setzen die Kenntnis der absoluten Windverhältnisse, also etwa den Bericht einer Wetterwarte oder das Resultat vom

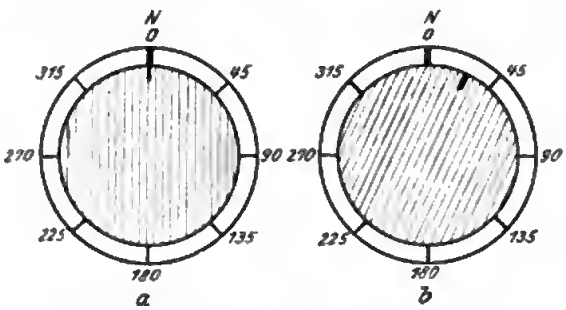


Abb. 230. Scheibe mit Verschwindlinien.

Boden aus angestellter Pilotballonaufstiege voraus. Es entsteht nun die Frage, ob es nicht möglich ist, auch ohne diese Kenntnis, lediglich aus Beobachtungen während des Fluges heraus, die zur Navigation wichtigen Daten zu erhalten. Es gibt eine Größe, die man direkt feststellen kann, nämlich den Abtriftwinkel. Dieser entsteht, sobald das Flugzeug durch seitlichen Wind parallel zu sich selber verschoben wird; meßbar wird er dadurch, daß die Gegenstände am Boden nicht längs

der Flugzeugachse, sondern in einem bestimmten Winkel zu ihr entlang wandern (geradliniger Flug vorausgesetzt). Das Hilfsmittel dazu ist in Abb. 230 schematisch dargestellt. Eine drehbare Glasscheibe trägt eine Anzahl paralleler Linien; man verstellt sie so lange, bis die durch sie hindurch beobachteten Objekte am Erdboden entlang dieser Linien verschwinden (etwa Abb. 230b). Für eine genaue Messung braucht man noch ein oberhalb der Scheibe in Sichtweite fixiertes Korn oder einen Diopter. Den Abtriftwinkel kann man nun direkt an dem Teilkreise ablesen. Das ganze Gerät kann auch als Okularscheibe eines vertikalen Fernrohrs ausgebildet werden.

Die Kenntnis des Abtriftwinkels hat nun verschiedentlich dazu verleitet, auf den für die Navigation erforderlichen „Vorhaltwinkel" zu schließen. Dabei sind häufig Fehler begangen worden. Es ist natürlich gänzlich verfehlt, etwa beide als gleichgroß anzunehmen. Aber noch mehr: es besteht überhaupt kein direkter Zusammenhang zwischen ihnen. Dazu möge folgende Betrachtung dienen (siehe Abb. 231).

Die Achse eines in A befindlichen Flugzeugs sei nach B gerichtet, der Wind durch AC dargestellt. Der Kurs ist dann tatsächlich AD und der zu messende Abtriftwinkel α. Um nun nach dem beabsichtigten Ziele B zu gelangen, muß ein „Vorhaltwinkel" β gesteuert werden, der sich durch einfache Konstruktion ($FA = CA$) ergibt. In einem zweiten Falle (gestrichelt) sei der Wind durch AC' gegeben; der Kurs ist nun AD', d. h. wir erhalten denselben Abtriftwinkel α. Dagegen ist der Vorhaltwinkel β' nunmehr ein ganz anderer. Beide sind also nicht eindeutig einander zugeordnet.

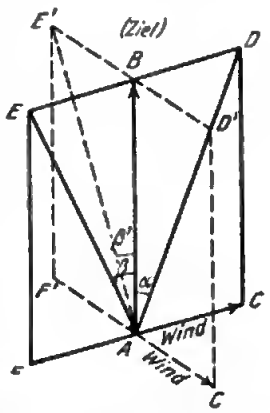


Abb. 231. Abtriftwinkel und Vorhaltwinkel.

Diese Verhältnisse sind hier etwas ausführlicher dargestellt worden, weil ihre Unkenntnis manche fehlerhafte Konstruktion verursacht hat. So ist z. B. von der Pfadfinder-Gesellschaft ein „Abtriftkompaß" ausgeführt worden, der auf solch falscher Grundlage beruhte. Grundsätzlich kann also aus der Kenntnis des Abtriftwinkels allein gar nichts geschlossen werden.

Trotzdem ist es aber möglich, zum Ziele zu gelangen, wenn man ihn nicht einmal, sondern mehrmals feststellt, und zwar bei verschiedenen Achsenrichtungen des Flugzeugs. Auf dieser Grundlage lassen sich mehrere Verfahren aufbauen; das brauchbarste ist anscheinend das folgende.

δ. Anderes Abtriftverfahren.[1])

Dieses Verfahren erfordert zur Bedienung zwei Personen. (Abb. 232a) A sei ein gewöhnlicher Kompaß mit einem drehbaren Kursring, auf dem sich die Marke C befindet; B ist ein ebensolcher Ring mit vollständiger Rose, die an der festen Marke D abzulesen ist; beide Ringe sind durch Schnurlauf oder anderswie zwangläufig untereinander verbunden, so daß die Stellung der Marke C beim Führer

[1]) Die Idee hierzu stammt von einem Fliegeroffizier, dessen Name dem Verfasser entfallen ist.

immer der Lage der Nordmarke N beim Beobachter entspricht. Der Ring B trägt eine mit parallelen Strichen versehene Scheibe F (Abb. 230), die im allgemeinen frei im Ringe drehbar ist, aber durch eine Schraube mit ihm gekoppelt werden kann.

Wir wollen zuerst die Aufgabe lösen, bei Windstille einen Kurs von 325° zu nehmen: Der Beobachter stellt Ring B an der festen Marke D auf 325° (siehe Abb. 232b); dadurch wird Marke C ebenfalls verschoben. Der Führer steuert nun so, daß die Nordnadel mit C zusammenfällt. Damit ist der verlangte Kurs erreicht.

Nunmehr sei dieselbe Aufgabe bei Wind unbekannter Richtung und Stärke zu lösen. Die Insassen verfahren wie vorher; alsdann stellt der Beobachter, ohne Ring B zu verschieben, die Richtlinien der Peilscheibe F vermittelst einer nicht angegebenen Hilfsmarke parallel zur Flugzeugachse ein und koppelt F mit B (Abb. 232b). Bis hierhin kann alles schon vor Beginn des Fluges ausgeführt sein. Nun beginnt er zu peilen; das Gelände verschiebe sich z. B. in Richtung nach G. Infolgedessen muß er Ring B einschließlich der Scheibe F nach rechts herumdrehen, wodurch sich die Marke C mitbewegt. Diese Korrektor soll so langsam

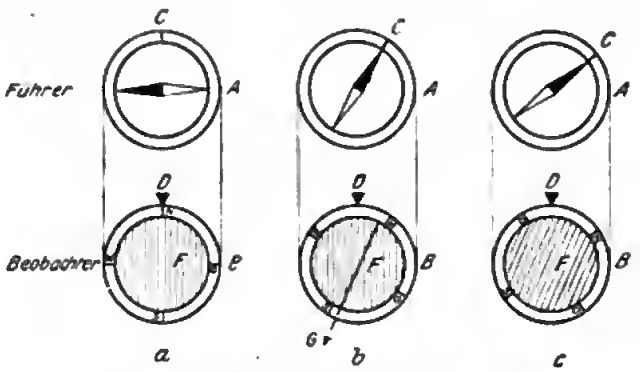


Abb. 232. Neues Navigationsverfahren.

erfolgen, daß der Führer Zeit hat, durch Steuerung die Nordnadel auf der Marke C zu halten. In dem Augenblick, in dem die Peillinien mit den Verschwindlinien zusammenfallen, ist der richtige Kurs mit Berücksichtigung der Abtrift erreicht (siehe Abb. 232c). Das Verfahren erfordert lediglich Eingespieltsein der Besatzung, ist dann aber leichter ausführbar, als es nach der Beschreibung erscheint. Auch ist ein Wechsel des Windes auf diesem Wege leicht erkennbar; in diesem Falle sind zeitweise Korrekturen in der oben beschriebenen Weise einfach vorzunehmen.

Die Methode ist deshalb näher erläutert worden, weil sie allem Anschein nach eine höchst beachtenswerte Lösung des Problems darstellt. Allerdings bedeutet die Beteiligung zweier Personen am Kurssuchen einen Nachteil. Eine Betätigung des Gerätes durch den Führer allein dürfte jedoch kaum zweckmäßig sein.

e) Kompensierungsgerät.

Auf diesem Gebiete sind keine wesentlichen Neuerungen bekannt geworden, da es bereits von der Schiffahrt her völlig durchgebildet worden war. Es soll deshalb nur eine bildliche Zusammenstellung der hauptsächlich verwandten Instrumente gegeben werden.

α. Peilscheiben
(siehe Abb. 233—236).

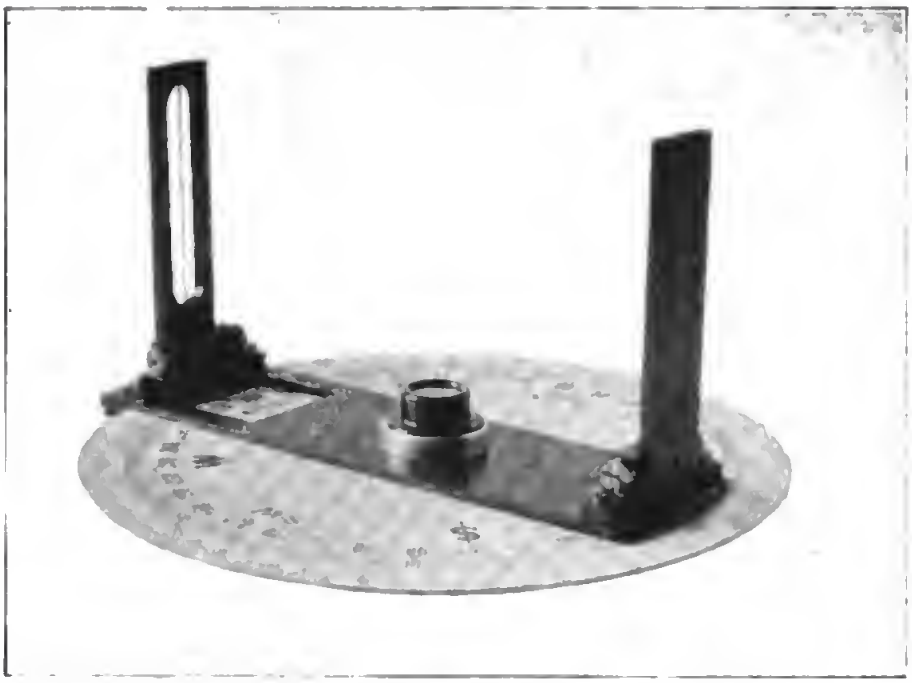


Abb. 233. Peilscheibe (Bamberg).

Abb. 234. Montage der Peilscheibe.

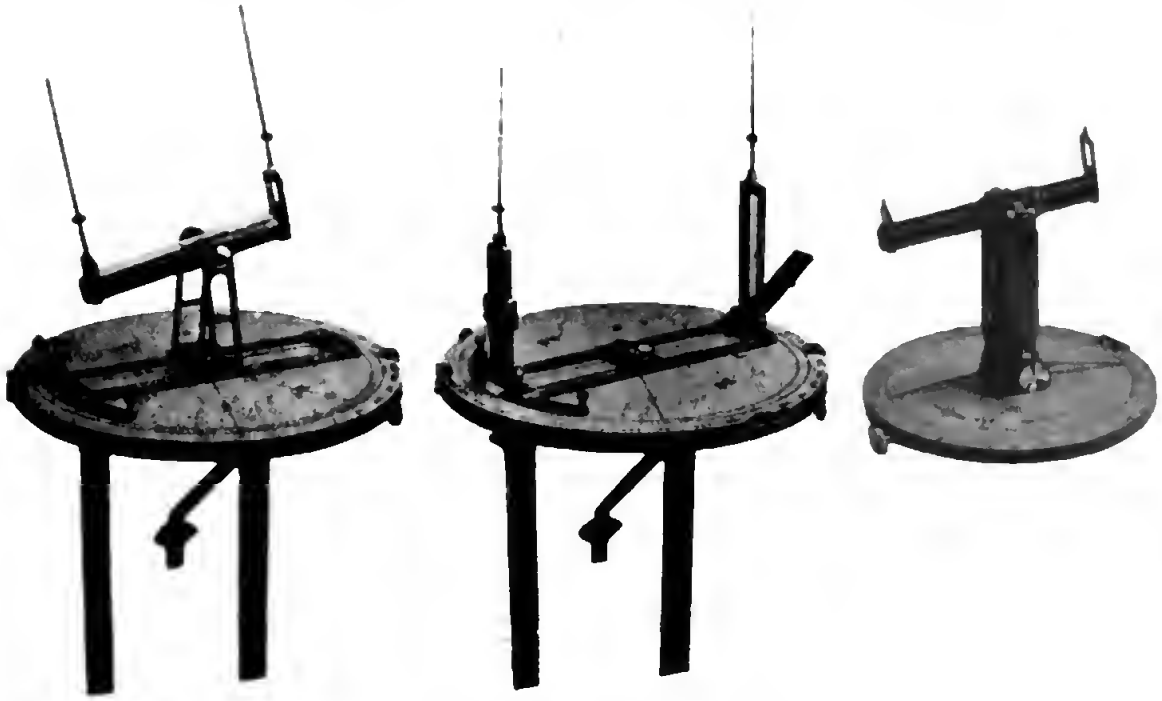


Abb. 235. Peilscheiben (Ludolph).

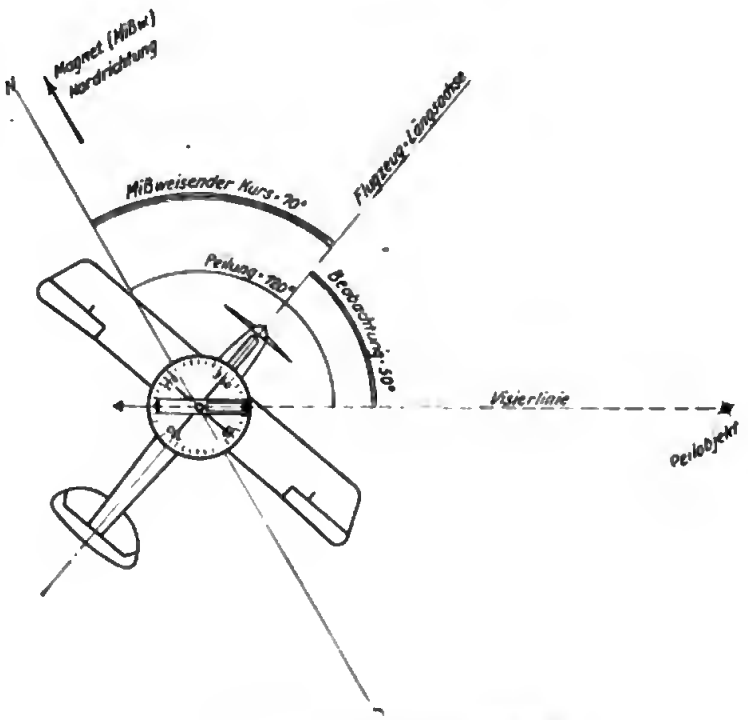


Abb. 236. Anwendung der Peilscheibe.

β. Peilkompasse
(siehe Abb. 237—238).

Abb. 237. Peilkompaß (Bamberg).

Abb. 238. Peilkompaß (Ludolph).

Digitized by Google

γ. Fuß für Peilscheiben.

Um die Richtung der Flugzeuglängsachse möglichst exakt ermitteln und einstellen zu können, wurde ein Sockel konstruiert, der sich bequem im Flugzeugsitz befestigen läßt und eine sichere Unterlage für die Peilscheibe abgibt. Seine Anwendung ergibt sich von selber.

δ. Hilfspeilung.

Für schnelle Peilung eignen sich auch die ursprünglich zu anderen Zwecken gedachten Orientierungskompasse Bézard (franz.), Abb. 239.

Abb. 239. Französischer Orientierungskompaß (Bézard).

f) Einbau.

Bezüglich des Einbaus mögen nochmals kurz die als notwendig erkannten Forderungen zusammengefaßt werden. Die Wahl des Platzes hängt ab von der

Sichtbarkeit (Beobachter zu bevorzugen, Parallaxe, Spiegelung, Dunkelheit),
Erreichbarkeit (Kurszeigerbedienung, Hängenbleiben des Zeigers),
Gegenwart von Eisenmassen (Stahlrohre, Gestänge, Motor, Zündung, Handpumpen, Handwerkstaschen, Waffen, Spanndrähte, Panzerung),
Gegenwart von Strömen (Zündung, Beleuchtung usw.).

Die Entfernung von all diesen Teilen soll bei kleineren Gegenständen 20 cm, bei größeren, wie Motor, Panzerung 50 cm nicht unterschreiten. Alle Eisenteile, soweit sie beweglich sind, müssen sich bei der Kompensierung an der Stelle befinden (z. B. die Steuerhebel), die sie auch während des Fluges innehaben. Für eine genauere Kompensierung ist es nötig, daß sie bei laufendem Motor unternommen wird. Der Einbau im Rumpfe ist demjenigen im Flügel vorzuziehen.

E. Fahrtmesser.

1. Allgemeines.

Fahrtmesser dienen zur Bestimmung der Horizontalgeschwindigkeit des Flugzeugs. Man hat dabei die absolute und relative Geschwindigkeit zu unterscheiden, wobei sich erstere auf das Bezugssystem der Erde, letztere auf das der Luft bezieht. Die Absolutmessung hat ausschließlich Interesse für die äußere Navigation, die Relativmessung sowohl für Leistungsmessung wie für die Technik des Fliegens.

a) Absolute Fahrtmessung.

Absolute Fahrtmesser haben sich bisher wenig eingeführt, hauptsächlich wohl deshalb, weil es an geeigneten Instrumenten fehlte; erst neuerdings ist man dieser Aufgabe nähergetreten. Ein Bedürfnis ist zweifellos dafür vorhanden, und zwar einmal auf dem Gebiet des Verkehrsflugs, dann aber für die Zwecke der Landesvermessung und des Reihenbildwesens. Grundsätzlich bieten sich drei Möglichkeiten. Die erste besteht darin, daß man die Verschiebung des Erdbodens vom Flugzeug aus mit optischen Mitteln beobachtet. Die Messung kommt entweder auf eine Triangulation heraus, zu deren Auswertung man die Höhe über dem Erdboden kennen muß; oder aber man visiert unter konstantem Neigungswinkel nacheinander zwei Punkte des Bodens an, etwa die jeweilig senkrecht unter dem Flugzeug liegenden Punkte und bestimmt deren Entfernung auf einer Landkarte. Dieses letztere Verfahren wird häufig in der einfachen Form ausgeführt, daß man die zur Zurücklegung einer bekannten Strecke nötige Zeit abstoppt und daraus die Geschwindigkeit errechnet. Es ist recht einfach und erfordert außer einer Uhr und einer einfachen Visiervorrichtung keine weiteren Hilfsmittel, ergibt aber auch natürlich nur ungefähre Angaben. Weit genauer ist eine Triangulation vom Boden aus, auf die wir später eingehen.

Die zweite Möglichkeit ist die, daß man mit Hilfe des unten beschriebenen Anemometers die Relativgeschwindigkeit mißt und dann mittels eines Winddreiecks (siehe S. 184) die Absolutgeschwindigkeit bestimmt. Das letztere erfordert immerhin eine gewisse Übung, so daß sich dies Verfahren nicht sehr eingebürgert hat. Außerdem setzt es die Kenntnis der Windverhältnisse voraus. Auf ähnlichem Prinzip beruht die Geschwindigkeitsmessung mit Hilfe des Reisekompasses, der unter Kompassen (siehe S. 187) beschrieben ist. Auch dieser benötigt die Kenntnis der Windgeschwindigkeit und -richtung, erspart aber dann jede Rechnung, und zwar für jede beliebige Flugrichtung. Um die Windverhältnisse, die starken Schwankungen unterworfen sein können, direkt aus dem Flugzeug bestimmen zu können, sind in neuester Zeit zwei Instrumente erdacht worden, auf die später eingegangen werden soll. Dieses indirekte Verfahren erfordert also immer eine Anzahl von Instrumenten, die nur für größere Maschinen Berechtigung haben. Begnügt man sich mit angenäherten Angaben, so dürfte der Reisekompaß die Ansprüche auf Einfachheit am besten erfüllen.

Die dritte Möglichkeit zur Bestimmung der Absolutgeschwindigkeit besteht zur Zeit nur in der Theorie und beruht auf der zeitlichen Integration der Horizontal-

beschleunigung. So einfach manche Erfinder sich die Lösung gedacht haben, so schwierig ist ihre Durchführung. Man hat meistens geglaubt, es genüge, die Beschleunigung in Richtung der Flugzeugachse zu integrieren, hat aber dabei vergessen, daß auf diese Weise die dazu senkrechte Komponente der Abtriftgeschwindigkeit nicht in Rechnung gestellt wird. Diese äußert sich zwar nicht im Geradausflug, wohl aber, wenn die Flugrichtung geändert wird. Alsdann addiert sich nämlich ihre Komponente geometrisch, während (abgesehen von der Kurve selber) die Längsbeschleunigung keine Änderung aufzuweisen braucht. Daraus geht hervor, daß die Beschleunigung in ihren beiden Komponenten integriert und außerdem der ganze Beschleunigungs- und Integrationsmechanismus etwa durch magnetische Richtkräfte (Kreisel) sich selbst parallel erhalten werden muß; hieran scheitert aber die technische Ausführbarkeit. Es wird später auf einige Ausführungsformen trotzdem eingegangen werden, da es sich hier um ein Problem handelt, das viele Bearbeiter gefunden hat.

b) Relative Fahrtmessung.

Zu den relativen Fahrtmessern rechnet man gemeinhin zwei Gruppen, von denen eigentlich nur die eine den Namen verdient, während die andere strenger Staudruckmesser heißen sollte. Sachlich sind beide wertvoll, haben aber Bedeutung auf ganz verschiedenen Gebieten. Da dieser Umstand nicht allgemein bekannt ist, sind bisweilen falsche Urteile namentlich über Staudruckmesser verbreitet worden, die tatsächlich unberechtigt sind.

Eigentliche relative Fahrtmesser sind Windräder in Form von Schalenkreuzen oder Luftschrauben, die in Verbindung mit einem Drehzahlmesser stehen. Es wird später gezeigt, daß derartige Instrumente unabhängig vom Luftdruck und Dichte die Relativgeschwindigkeit anzeigen, vorausgesetzt, daß sie keine Arbeit zu leisten brauchen. Bei Luftschrauben ist dies ohne weiteres verständlich, da sie sich im stationären Zustand mit einer ihrer Ganghöhe entsprechenden Tourenzahl durch das Medium schlüpfungslos hindurchschrauben, gleichgültig ob dieses dichter oder dünner, kälter oder wärmer ist. Dabei ist vorausgesetzt, daß bei der reinen stationären Drehung keine Reibungswiderstände auftreten, was jedoch nie vollkommen zu erreichen ist. Außerdem verzehrt die Betätigung des Drehzahlmessers immer eine gewisse Arbeit; dadurch wird das Resultat sowohl der Luftschrauben- wie der Schalenkreuzinstrumente etwas verfälscht. Leider ist es recht schwierig, diese Verhältnisse experimentell zu ermitteln, da die zur Eichung zu verwendenden Windkanäle es bisher nicht gestatten, den herrschenden Luftdruck zu variieren. Versuche können nur im Flugzeug selber angestellt werden, bei denen gleichzeitig die Absolutgeschwindigkeit am besten vom Boden aus gemessen und Windrichtung und -stärke festgestellt wird. Ein wesentlich einfacheres, wenn auch nicht ganz einwandfreies Verfahren besteht in der Vergleichung mit dem später zu besprechenden Staudruckmesser unter Berücksichtigung der Höhe und der Temperatur. Auf diese Weise angestellte Versuche ergaben, daß die gebräuchlichen Fahrtmesser innerhalb der praktischen Höhen nur wenig von ihrem theoretischen Wert abweichen, so daß sie ihre Beliebtheit rechtfertigen.

Dieses zuletzt genannte Eichverfahren zeigt, daß auch Staudruckmesser als Fahrtmesser dienen können, wenn sie mit einer Vorrichtung versehen sind, die gleichzeitig den Luftdruck mißt. Solcher Vorrichtungen sind verschiedene ausgeführt worden, die auch gute Ergebnisse gezeitigt haben; nur sind sie wesentlich empfindlicher in der Behandlung und teurer, ohne einen Vorteil gegenüber den Schalenkreuzfahrtmessern zu bieten. Da schließlich der einfache Staudruckmesser einen ganz anderen Zweck als den der äußeren Navigation erfüllt, wäre es widersinnig, diesen Apparat durch Zusatzmechanismen zu etwas anderem machen zu wollen, während seine natürliche Funktion ihn auf ein anderes ebenso wichtiges Gebiet verweist; wir kommen darauf später zurück.

Verzichtet man auf die Bestimmung der relativen Geschwindigkeit vom Flugzeug aus, und verlegt sie auf den Boden, so kommt man zu einer für die Leistungsbestimmung äußerst wertvollen Methode, der sog. „Dreiecksmessung". Diese tritt neuerdings immer mehr in den Vordergrund; sie beruht auf der optischen Anvisierung eines Flugzeugs, das in konstanter Höhe einen Dreiecksflug ausführt. Man erhält somit zuerst die Absolutgeschwindigkeiten in drei verschiedenen Richtungen, aus denen man leicht die Relativgeschwindigkeit und als Nebenresultat die Windverhältnisse ermitteln kann.

c) Aerodynamische Fahrtmessung (Staudruck).

Wir kommen nun zu den Staudruckmessern. Die einfachsten sind die sog. Wildschen Scheiben, die dem Luftzuge entgegengestellt werden; als Gegenkraft wirkt eine Feder. Sie besitzen verschiedene Nachteile; namentlich ist die Randwirkung der Scheibe für die Güte der Anzeige nachteilig, da die auftretende Wirbelbildung in schwer definierbarer Weise vom Luftdruck abhängt. Man hat diese Form deshalb auch bald wieder fallen gelassen. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß dieses Prinzip später einmal wieder auftaucht, wenn es sich nicht um Messungen handelt, sondern um automatische Regulierung z. B. der Steuerung. Wesentlich genauere Staudruckmessungen erzielt man mit dem Pitot-Rohr, wie es bei allen wissenschaftlichen Versuchen im Windkanal benutzt wird. Es mißt den Staudruck gegen den an derselben Stelle herrschenden statischen Druck. Da nun diese Differenz nicht sehr groß ist, erfordert das als Meßkörper benutzte Manometer eine ziemlich hohe Empfindlichkeit. Tatsächlich haben sich aus diesem sowie aus anderen mehr äußerlicheren Gründen diese einfachen und für die Wissenschaft so unentbehrlichen Instrumente in Flugzeugen nicht recht bewährt.

An Stelle des Pitot-Rohrs hat sich neuerdings das Venturirohr eingeführt, bei dem der Staudruck dazu benutzt wird, einen gesteigerten Luftstrom und damit einen Unterdruck zu erzielen. Dieser übertrifft an absoluter Größe den Staudruck bei weitem, so daß das Manometer viel unempfindlicher sein darf und der entgegenzustellende Normaldruck nicht ängstlich an einer völlig neutralen Zone entnommen zu werden braucht. Hierdurch fällt eine der benötigten Schlauchleitungen und damit eine erhebliche Fehlerquelle fort. In theoretischer Beziehung gleicht es dem Pitotrohr vollkommen, insofern es dieselbe Funktion der Luftdichte aufweist.

2. Absolute Fahrtmesser.

a) Optische Geräte.

α. Vertikalsichtfernrohre.

Alle optischen Fahrtmesser setzen Bodensicht sowie Vorhandensein unveränderlicher Merkmale auf dem Boden voraus; letzteres ist z. B. beim Fluge über Wasser nicht erfüllt; aus diesen und ähnlichen Gründen ist ihre Anwendbarkeit beschränkt. Das einfachste Verfahren beruht in der Anvisierung zweier nacheinander überflogener Geländepunkte und Abstoppung der verflossenen Zeit. Allgemeine Formen für die dazu benötigten Visiervorrichtungen existieren noch nicht. Ob man dabei optische Systeme oder mechanische (Kimme und Korn) verwendet, ist von untergeordneter Bedeutung; wichtiger ist die Verwirklichung der Vertikalen. Da solche Messungen nur im Geradeausflug einen Sinn haben, wird man sich gemeinhin des Pendels bedienen können. Eine einfache Vorrichtung, die vom Verfasser angegeben und in der Praxis vielfach benutzt wurde, ist in Abb. 240 skizziert. Ein enges Rohr *a* mit zwei Fadenkreuzen *b* ist kardanisch in einem weiten Rohr *c* aufgehängt; letzteres ist durch Glasplatten *d* oben und unten gegen Luftzug abgeschlossen. Das Gerät wird beim Gebrauch in die Hand genommen; es gewährt ein großes, ungestörtes Gesichtsfeld.

Abb. 240. Vertikalsichtrohr.

In zweiter Linie könnte man an die Verwendung einer Libelle denken; jedoch hat sich die Bedienung einer solchen als nicht ganz einfach erwiesen. Ein automatisch wirkendes Vertikalsichtfernrohr wäre eine dankbare Aufgabe für die Optik. Die Stabilisierung eines Fernrohrs mit Hilfe des Kreisels ist eine Lieblingsidee mancher Konstrukteure; die Aufwendung stände aber kaum im Verhältnis zum Erreichten.

β. Winkelsichtfernrohre.

Die Methoden unter α benötigen die Kenntnis des Abstandes der Bodenmerkmale voneinander, sind also nur mit Landkarte durchführbar. Um sich hiervon freizumachen, hat man für die Praxis des Bombenwurfs, zu der ebenfalls die Kenntnis der Absolutgeschwindigkeit nötig ist, eine andere Methode ausgebildet, bei der die Flughöhe die Rolle der Meßbasis übernimmt. Die Messung wird somit von der Genauigkeit des Höhenmessers abhängig. Man visiert einen vor dem Flugzeug am Boden gelegenen Punkt unter einem festen Winkel an und stoppt den Moment ab in dem dieser Punkt das Gesichtsfeld unter einem zweiten Winkel passiert. Solche Geräte sind von Goerz und Zeiß ausgebildet worden, insbesondere für den Bombenwurf. Die Festlegung der Vertikalen erfolgt immer durch Libellen, weshalb ihre Bedienung einer beträchtlichen Übung bedarf. Auf die Einzelheiten dieser durchgebildeten Geräte können wir hier nicht eingehen. Jedenfalls stellen sie bis auf die erwähnten Einschränkungen alle anderen Verfahren zur Absolutmessung in den Schatten.

Digitized by Google

γ. Triangulation.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle die Bestimmung der Absolutgeschwindigkeit mittels optischer Anvisierung vom Boden aus erwähnt. Da jedoch das Verfahren in dieser Form für die Praxis kaum Interesse hätte, sondern erst für die Ermittlung der relativen Geschwindigkeit Bedeutung gewinnt, verweisen wir auf den Artikel „Dreiecksmessung" (S. 216), wo sich Näheres findet.

b) Kombinierte Verfahren.

α. Bestimmung der Windgeschwindigkeit.

Die Vereinigung der Relativ- mit der Windgeschwindigkeit ergiht weitere Möglichkeiten zur Bestimmung der Ahsolutgeschwindigkeit. Die Messung der ersteren wird weiter unten erörtert; hleiht die Bestimmung der Windgeschwindigkeit. Ein gutes Verfahren lernen wir später bei der Dreiecksmessung (S. 216) kennen; für die Praxis kommt es jedoch nicht in Betracht. Ein weiteres ist in der Meteorologie ausgehildet worden und verwendet Pilothallons (siehe S. 309); es darf als bekannt vorausgesetzt werden. Die großzügige Durchführung des Wetterdienstes entheht den Flieger im allgemeinen dieser Arheit, sohald er im Besitz gültiger Wetterkarten ist. Die Entwicklung der Funkentelegraphie ermöglicht es ihm sogar, während des Fluges Erkundigungen einzuziehen. Für einen geregelten Überlanddienst ist damit das Erreichhare geleistet. Will sich jedoch der Flieger selhständig über die ihn umgehenden Windverhältnisse unterrichten, so fehlt es zur Zeit noch an geeigneten Verfahren. Eine Lösung erscheint überhaupt nur möglich durch geeignete Verbindung von Relativ- und Absolutmessung. Ein vom Verfasser angegebenes, aber noch nicht erprohtes Verfahren ist folgendes (Ahh. 241): Man stelle sich das Landschaftshild vermittelst einer vertikalen Kamera auf eine Mattscheibe (Film) projiziert vor; dieses Bild wird proportional der Ahsolutgeschwindigkeit auf der Scheibe wandern. Diese mit Striehen versehene Scheibe bewege sich nun in Längsrichtung (gleichsinnig) proportional der Relativgeschwindigkeit des Flugzeugs, was dadurch erreicht wird, daß es mit einem Schalenkreuz verhunden ist, das die Verschiebung mit großer Untersetzung besorgt. Bei Windstille wird alsdann das Bild im Netz der Mattscheihe scheinbar ruhen; bei Wind beliehiger Richtung und Stärke wird es sich jedoch auf ihr verschiehen. Diese

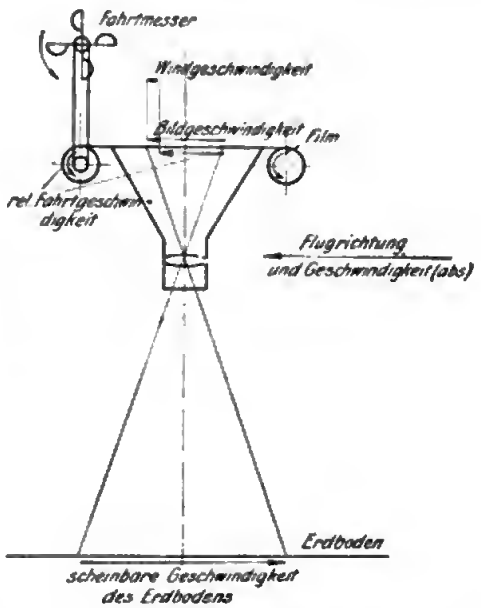


Abb. 241. Verfahren zur Windbestimmung nach Bennewitz.

Verschiebung ist aber ein Maß für die Windverhältnisse. Durch eine besondere Einrichtung muß übrigens noch der Flughöhe Rechnung getragen werden. So verwickelt die Methode erscheint, so dürfte eine einfachere kaum zu finden sein, wenn man ein Mindestmaß geistiger Betätigung bei der Bedienung erreichen will. Die tatsächliche Durchführung des Geräts weist übrigens noch Einrichtungen auf, die die Bedienung vereinfachen. — Die Entente besaß ein Gerät, „Crocco" bezeichnet, das Ähnliches leistet, jedoch unter erheblich größerem Aufwand an Denkarbeit.

β. Bestimmung des Kurses.

Nehmen wir nun einmal an, daß die Windgeschwindigkeit und -richtung auf eine der angegebenen Weisen ermittelt ist, so erhebt sich die Frage, in welcher Weise diese Kenntnis weiter zu verwerten ist. Um aus ihr und der am Fahrtmesser abzulesenden Fahrt den Kurs zu bestimmen, benutzte man bisher das Winddreieck (Kursschieber; siehe S. 184). Verschiedene Formen dieses Gerätes sind daselbst dargestellt. Es ergibt sich aus den dortigen Betrachtungen, daß bei Kenntnis der Windelemente und der Eigengeschwindigkeit und Richtung die Absolutgeschwindigkeit eindeutig bestimmt werden kann. Immerhin setzt diese Art der Messung eine erhebliche Konzentration voraus, die im allgemeinen nicht vorhanden ist.

An gleicher Stelle (S. 187) ist auch ein Gerät, der „Reisekompaß", beschrieben, das die Funktion des Kursschiebers automatisch ausführt. Bezüglich der Einzelheiten wird auf diese Ausführungen verwiesen. Jedenfalls ermöglicht dies Gerät, durch eine einmalige Einstellung der Winddaten die jeweilige Absolutgeschwindigkeit in einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit direkt abzulesen. Die Berücksichtigung der jeweiligen Relativgeschwindigkeit, die von einem Fahrtmesser abzulesen ist, geschieht durch Verwendung einer kleinen Tabelle; das Gerät kann jedoch einer durchschnittlichen Eigengeschwindigkeit des Flugzeugs angepaßt werden, wodurch sich für eine überschlagsmäßige Beurteilung der „Reisegeschwindigkeit" der Gebrauch dieser Tabelle erübrigt.

c) Integrierende Geräte.

Trotz der Aussichtslosigkeit dieser Methode sei im folgenden eine kurze allgemeine Zusammenstellung der auf diesem Gebiete unternommenen Versuche gegeben.

Um die Horizontalbeschleunigung des Flugzeuges bestimmen zu können, muß zuerst die Horizontalebene festgelegt werden: Kardangehänge, evtl. unterstützt durch Kreiselstabilisierung. Wie oben auseinandergesetzt, ist des weiteren eine Zerlegung in zwei zueinander senkrechte, im Raume festliegende Komponenten dieser Ebene erforderlich. Mittel: Kompaß. Die Messung der Beschleunigung erfolgt durch Pendel im allgemeinen Sinne. Da ein Pendel jedoch immer eine störende Eigenschwingung besitzt, ist es so durchzubilden, daß sie ein Minimum wird. Mittel: Stärkste Dämpfung und geringer Ausschlag. Diese Beschleunigung ist nun über die Zeit zu integrieren. Derartige Vorrichtungen sind verschiedentlich vorgeschlagen worden; mechanische die im wesentlichen darauf beruhen, daß man

Digitized by Google

ein Reibrad auf einer mit konstanter Drehzahl bewegten Scheibe radial sich verschieben läßt; oder Drosselventile, die durch ein beschleunigtes Pendel betätigt, strömende Flüssigkeiten regulieren, welch letztere etwa durch Wägung ausgewertet werden; elektrische Vorrichtungen, bei denen Widerstände durch ein Pendel ein- und ausgeschaltet werden, in welchem Falle die Auswertung der Geschwindigkeit in Elektrizitätszählern erfolgt. Es lohnt kaum, auf Einzelheiten einzugehen, da Erfolge damit bisher überhaupt noch nicht erzielt wurden.

3. Relative und aerodynamische Fahrtmesser.

a) Schalenkreuzfahrtmesser.

Bezieht man sich bei der Geschwindigkeitsmessung nicht auf die Erde, sondern auf die strömende Luft, so spricht man von der „Fahrt" des Flugzeugs und bezeichnet derartige Instrumente als „Fahrtmesser" im engeren Sinne. Sie messen also die Eigengeschwindigkeit. Ihr Hauptbestandteil ist die Luftschraube oder häufiger das Drehschalenkreuz. Diese Mittel werden bereits seit langem in der Meteorologie zu Windmessungen verwendet und sind infolgedessen in theoretischer Hinsicht schon häufig behandelt worden. Bei ihrer Verwendung im Flugzeug ist wiederum die Veränderlichkeit der Luftdichte und der Temperatur zu beachten. Diese Fragen sind in einer Arbeit von Dr. Wilke (Zeitschr. für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1917 Heft 11/12) behandelt worden, auf deren Ergebnisse wir kurz eingehen wollen.

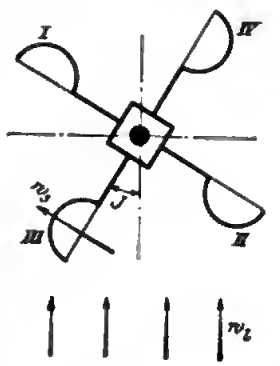


Abb. 242. Schalenkreuz.

Bezeichnet man (Abb. 242) die Luftgeschwindigkeit (bezogen auf das ruhende Gerät) mit w_l, die Tangentialgeschwindigkeit des Schalenkreuzes am Schalenmittelpunkt mit w_s, ferner das Verhältnis $\frac{w_s}{w_l}$ mit c, so ergäbe sich c als unabhängig von w_l und von der Luftdichte u, wenn die Drehung reibungslos erfolgte; und zwar sollte sein: $c = \frac{1}{3}$; tatsächlich ist aber eine durch die Welle und das Zählwerk bedingte Reibung vorhanden, die zu gewissen Abweichungen führt. Die Verhältnisse, wie sie bei einem Morellschen Fahrtmesser gefunden wurden, sind in den Abb. 243 und 244 sowie Tabelle 1 und 2 dargestellt. Was zuerst die Abhängigkeit von w_l betrifft (Abb. 243), so ist es offenbar, daß die Reibung um so mehr ins Gewicht fällt, je kleiner die Energie der Luftströmung, also w_l, ist; d. h. bei Abnahme der Geschwindigkeit muß $n = \frac{1}{c}$ wachsen. Bei zunehmendem w_l nähert sich der Wert von n dem theoretischen Wert 3; übertragen auf die Flugpraxis besagt das, daß die Abweichung bei langsamstem Fluge 3 %, bei schnellem Fluge 1 % nicht übertrifft. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Abhängigkeit vom Luftdruck; je geringer dieser ist, um so mehr wächst n; bei einem Fluge in 5000 m Höhe vergrößern sich dadurch die Abweichungen auf etwa 4 % bzw.

1,5 %. Die Abhängigkeit von der Temperatur ist in Abb. 244 dargestellt; sie ist zwar nicht sehr erheblich, aber für genauere Zwecke wohl zu berücksichtigen. Im ganzen kann gesagt werden, daß die Unabhängigkeit der Schalenkreuze von

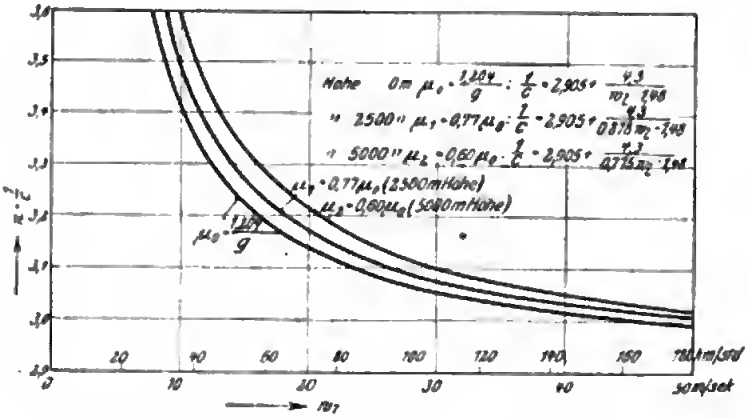


Abb. 243. Relative Drehgeschwindigkeit (c) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (nach Dr. Wilke) und Dichte (u).

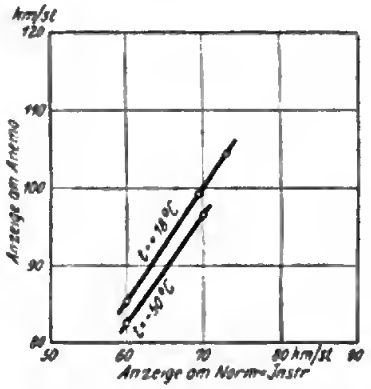


Abb. 244. Temperatureinfluß auf die Drehgeschwindigkeit.

äußeren Umständen genügend groß ist, um ihre Verwendung in der Praxis zu rechtfertigen. Dies trifft aber nur dann zu, wenn die technische Ausführung den höchsten Grad an Reibungslosigkeit aufweist.

Tabelle 1.

Luftgeschwindigkeit w_l m/sec	Schalengeschwindigkeit w_s m/sec	$n = \frac{1}{c}$
14,4	4,40	3,27
17,7	5,57	3,18
20,6	6,64	3,10
23,4	7,48	3,09
26,1	8,43	3,10
28,7	9,35	3,07
31,5	10,22	3,08
34,2	11,27	3,04
37,3	12,22	3,04
40,1	13,23	3,03
43,4	14,49	3,00

(Nach Wilke.)

Tabelle 2.

Temperatur	+ 18°	— 10°	— 15°	— 50°
Reibungsmoment in cmg	0,855	0,888	2,58	5,10
Ideelle Kugellagerreibungszahl	0,024	0,025	0,071	0,141

Messungen an Luftschrauben, die den obigen entsprechen, sind anscheinend noch nicht unternommen worden, doch wird man kaum fehlgehen, wenn man ähnliche Verhältnisse erwartet; auch bei ihnen ist minimale Arbeitsleistung

Voraussetzung. Der Grund, daß sie weniger für diesen Zweck im Gebrauche sind, ist ein äußerlicher: sie erfordern etwas mehr Raum.

Es handelt sich also darum, für den zugehörigen Drehzahlmesser eine Form zu finden, die möglichst wenig Energie verzehrt. Aus diesem Grunde scheiden eine Anzahl der früher erwähnten Typen aus. Am geeignetsten sind Fliehpendelsysteme, da sie am wenigsten Gleitstellen besitzen; einmal in gleichmäßiger Rotation befindlich, erfordern sie zur Anzeige nur unerhebliche Energie. Wohl aber ist der Energievorrat der in Bewegung befindlichen Masse ziemlich bedeutend, so daß Geschwindigkeitsänderungen mit Verzögerung angezeigt werden. Trotzdem ist dieser Umstand für die Praxis kaum von Belang, sobald es sich nicht um beabsichtigte Messung von Böen handelt. Im Gegenteil ist die dadurch eintretende Art von Mittelwertbildung sogar ganz vorteilhaft, da sie ein ruhiges Ablesen gewährleistet.

Abb. 245.
Schalenkreuz-Fahrtmesser (Morell).

Ein solches Gerät ist in Abb. 245 dargestellt. Sein Aufbau geht aus dem Schema Abb. 246 u. 247 hervor. Zwei Kugellager genügen den oben gestellten Bedingungen. Besondere Vorsicht ist bei der Befestigung der Schalen geboten, da diese infolge der nicht unerheblichen Zentrifugalkräfte starken Beanspruchungen ausgesetzt sind. Ein Schutzkorb verhindert äußere Verletzungen, ohne die Wirkungsweise zu stören. Um die Stabilität der Schalen zu erhöhen, kann man sie durch zwei aufgelegte Ringe sichern, wodurch die Anzeige ebenfalls kaum leidet. Dieses Gerät erfreut sich großer Beliebtheit und ist recht zuverlässig.

Man kann es sogar mit einer Schreibvorrichtung versehen, wodurch freilich der Energieverbrauch etwas ungünstiger beeinflußt wird. Diagramme dieser Art besitzen jedoch keinen eigentlichen Wert, im Gegensatz zu den später zu besprechenden Staudruckdiagrammen.

Die Anbringung dieses Geräts erfolgt, etwa wie in Abb. 248 angedeutet, an einer Strebe, die jedoch dem Wind der Luftschraube nicht ausgesetzt sein darf. Häufig genügt die innere Strebe dieser Bedingung, da sich der Propellerwirbel im allgemeinen zusammenzieht; ist man jedoch auf die äußere Strebe angewiesen, was aerodynamisch zweifellos vorzuziehen ist, so wird die Ablesung bisweilen etwas schwierig. Die Höhe der Anbringung soll den von den Tragflächen gebildeten Wirbeln angepaßt sein, derart, daß das Gerät ihnen möglichst entzogen ist; als praktisches Maß ergab sich drei Fünftel bis zwei Drittel der Strebenhöhe, von unten gerechnet.

Digitized by Google

Um die Ablesung zu erleichtern, namentlich aber bei Dunst oder Dunkelheit überhaupt zu ermöglichen, hat man auch Fernfahrtmesser hergestellt (Abb. 249);

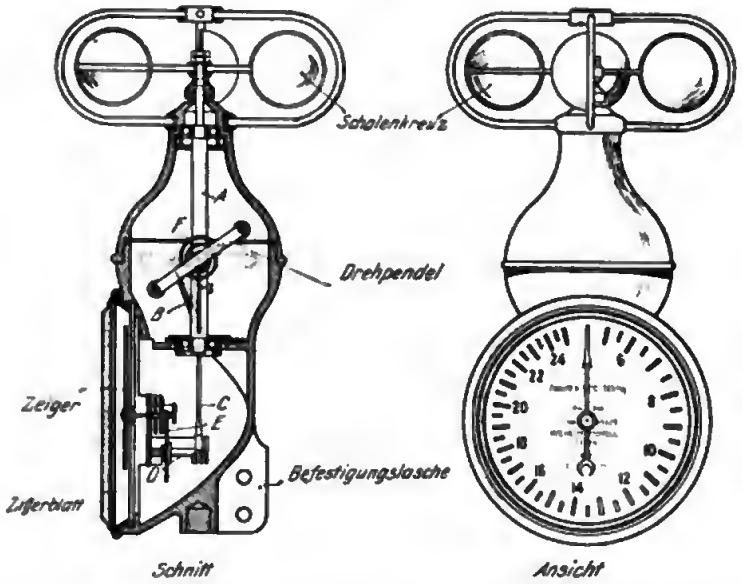


Abb. 246 u. 247. Schema des Schalenkreuz-Fahrtmessers (Morell).

Abb. 248. Montage des Fahrtmessers.

bei ihnen steht das Schalenkreuz in Verbindung mit einer kleinen Dynamo; als Anzeiger dient ein im Führersitz untergebrachtes Voltmeter. Zweifellos erfordert der Antrieb einer Dynamo weit größere Energie als der des Fliehpendels, deshalb

dürfte die Anzeige solcher Aggregate erheblich stärker von äußeren Bedingungen abhängen und somit unzuverlässiger sein. Will man trotzdem genaue Anzeigen auf diesem Wege gewinnen, so dürfte sich die Verwendung einer mit Kraftüberschuß laufenden größeren Luftschraube empfehlen.

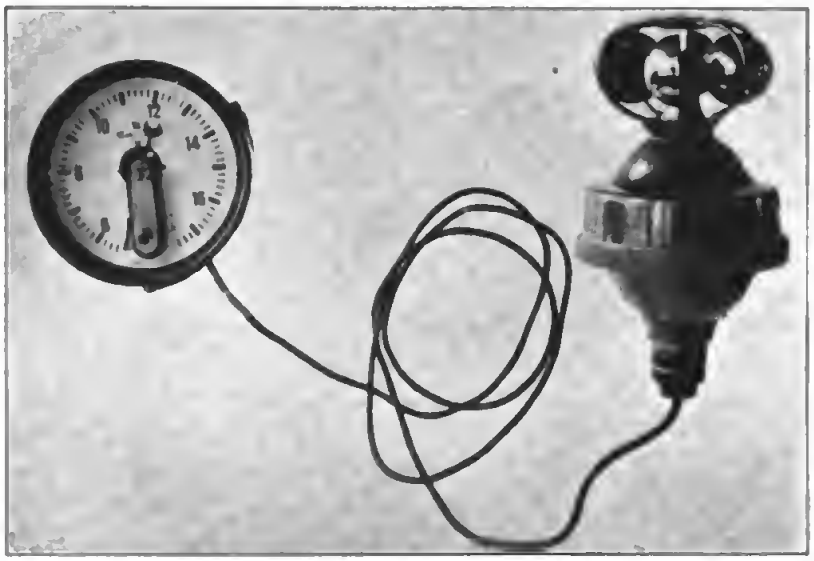


Abb. 249. Fernfahrtmesser (Morell).

Da es sich bei der Ablesung dieses Geräts wieder um möglichst einfaches, instinktives Erfassen handelt, hat man die Skala nach Abb. 250 normalisiert; sie entspricht dadurch dem Zifferblatt einer Uhr. Für Nachtflüge hat man den Zeiger

Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes ca. 83 mm. Durchmesser des inneren Teilstrichkreises 64 mm. Punkte: Durchmesser 1,6 mm. Striche: Länge 7 mm, Stärke 1,5 mm. Größe der Zahlen 5 mm, Strichstärke 1,2 mm. Schwarzer Grund, weiße Zahlen und Zeiger. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

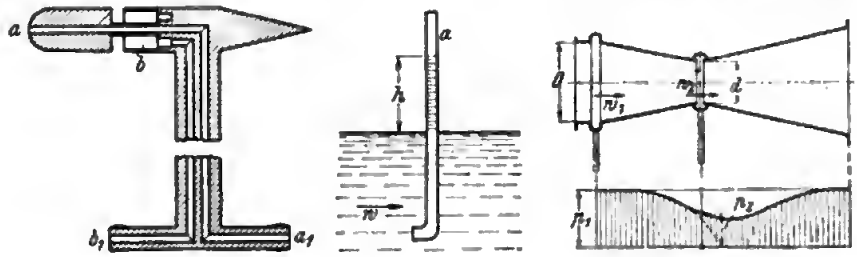
Abb. 250. Normalzifferblatt für Schalenkreuz-Fahrtmesser.

sowie die Gesehwindigkeiten 80, 100 und 120 als die wichtigsten mit selbstleuchtenden Marken versehen.

Daß man ähnliche Geräte auch ortsfest auf Flugplätzen mit Vorteil verwendet, sei hier nur kurz erwähnt; sie sind aus der Meteorologie hinreichend bekannt und bieten keine Besonderheiten.

b) Staudruckmesser.

Diese Vorrichtungen sind in den verschiedensten Formen längst in den Besitz der Wissenschaft übergegangen; ihre Theorie ist in zahlreichen Abhandlungen



a b c

Abb. 251. a Pitotrohr, b Staurohr, c Venturirohr.

entwickelt. Man hat im wesentlichen die beiden Formen des Pitotrohrs und des Venturirohrs zu unterscheiden (siehe Abb. 251). Ersteres gibt den Über-

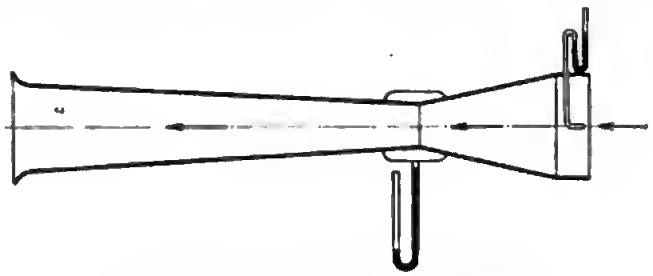


Abb. 252. Einfach-Saugrohr (Venturi).

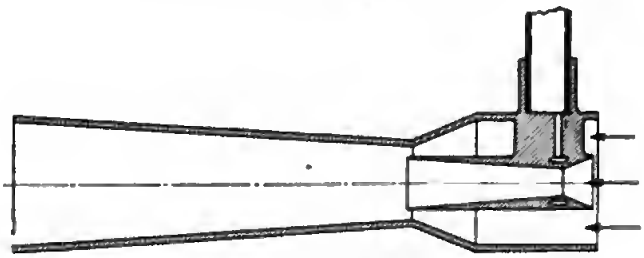


Abb. 253. Doppel-Saugrohr (Bruhn).

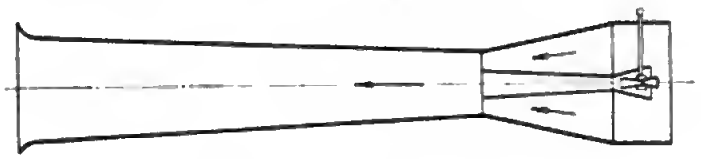


Abb. 254. Dreifach-Saugrohr

druck eines senkrecht auf seine Öffnung gerichteten Luftstromes gegenüber dem Druck einer mit letzterem im dynamischen Gleichgewicht befindlichen ruhenden

Luftmasse direkt an, letzteres dagegen nur eine diesem proportionale Größe, die sich um einen konstanten Faktor, den sog. Beiwert, unterscheidet. Das Prinzip des Venturirohrs ist folgendes: durch trichterförmige Ausgestaltung des Rohres (Abb. 251c) wird die Geschwindigkeit des Luftstromes lokal erhöht; dadurch entsteht in einem an der engsten Stelle des Trichters mündenden Seitenrohr ein Unterdruck. Die Druckdifferenz an diesem Rohr kann ein vielfaches derjenigen am Pitotrohr betragen. Da es sich bei letzterem nur um geringe Drucke handelt, benötigt man zu ihrer Messung Membranmanometer, die bereits an der Grenze der Empfindlichkeit liegen. Man zieht deshalb neuerdings Venturirohre vor, da sie weit geringere Empfindlichkeit benötigen und somit größere Genauigkeit und Zuverlässigkeit gewährleisten. Man kann die Wirkung noch weiter steigern, indem man mehrere solcher Trichter ineinander legt. In den Abb. 252—254 sind Schemata dieser drei Formen dargestellt.

In einer Arbeit von Dr. Hort (Zeitschr. für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1918 Heft 11/12) befinden sich Angaben über die Eigenschaften eines in der Fliegerei gut bewährten Staudruckmessers nach dem Venturiprinzip der Firma Bruhn. Wie aus den Kurven der Abb. 255 hervorgeht, ist die Proportionalität der Anzeige mit dem wahren Staudruck recht gut; auch die Konstanz bei geneigt auftreffendem Luftstrom ist bis zu ± 30° gewahrt (Abb. 257). Da außerdem ein solches Rohr gelegentlichen Ver-

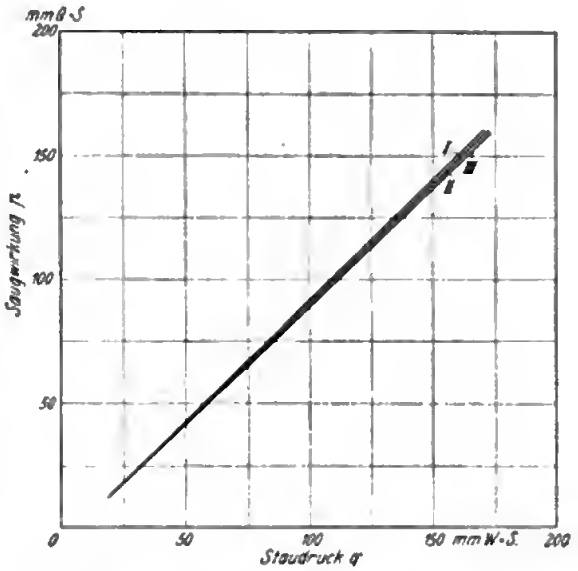


Abb. 255. Saugwirkung dreier Saugrohre (Bruhn) als Funktion des Staudrucks (nachDr. Hort).

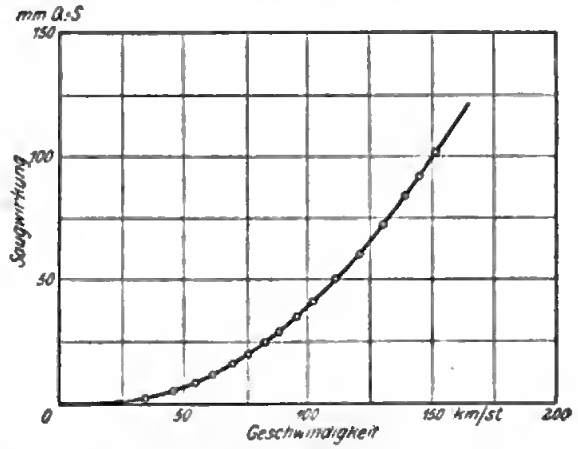


Abb. 256. Saugwirkung als Funktion der Geschwindigkeit (nach Dr. Hort).

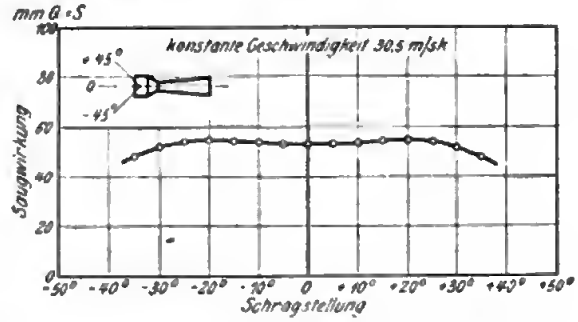


Abb. 257. Saugwirkung als Funktion des Auftreffwinkels (nach Dr. Hort).

stopfungen durch Insekten, Schnee oder dergleichen kaum unterliegt im Gegensatz zu dem eng mensurierten Pitotrohr, hat es sich in der Fliegerei als überlegen

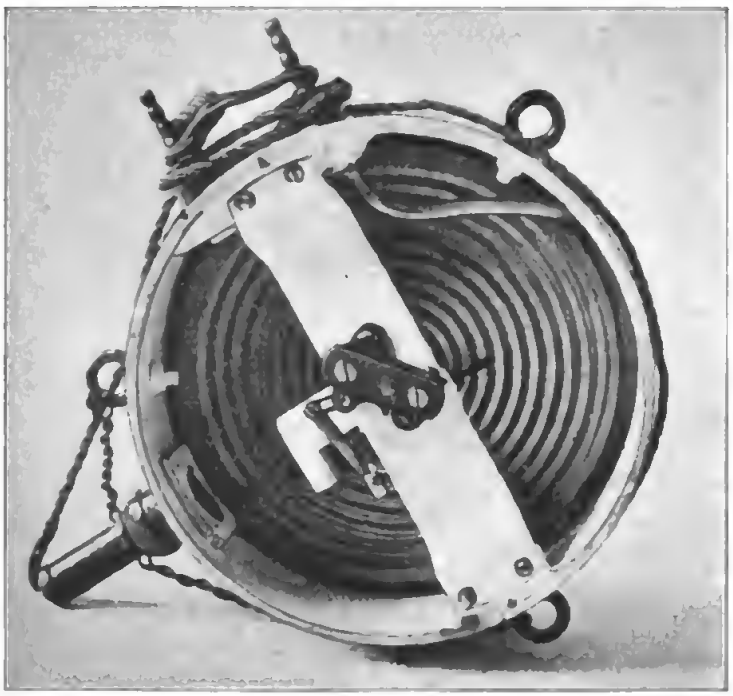


Abb. 258. Staudruck-Fahrtmesser, Manometer mit Metallmembrane (Eckardt).

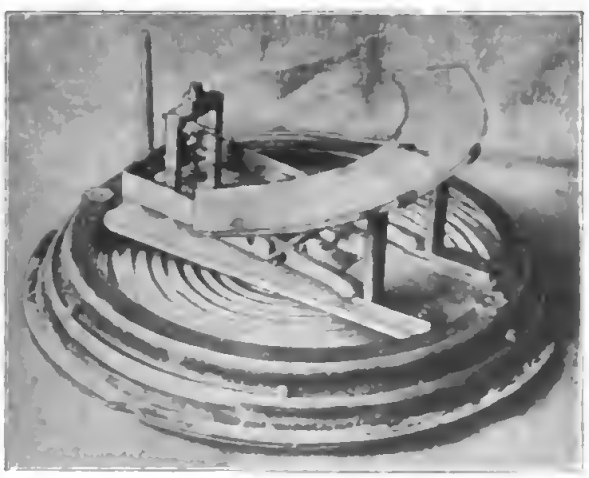


Abb. 259. Staudruck-Fahrtmesser, Manometer mit Metallmembrane (franz.).

erwiesen, wenn auch die Wissenschaft dem letzteren als dem theoretisch einwandfreieren den Vorzug geben dürfte.

Die Anzeiger sind den auftretenden Druckdifferenzen angepaßt; empfindliche Manometer für das Pitotrohr sind in Abb. 258 u. 259 dargestellt. Flüssigkeitsrohre

(Abb. 260) mit leichten Flüssigkeiten ergeben zwar genügende Ausschläge, unterliegen aber der Verdunstung und sind schlecht zu transportieren; auch beeinträchtigen Kapillarwirkungen und Temperatureinflüsse die Genauigkeit erheblich. Man ist deshalb von ihnen abgekommen. Manometerdosensätze wie in Abb. 261

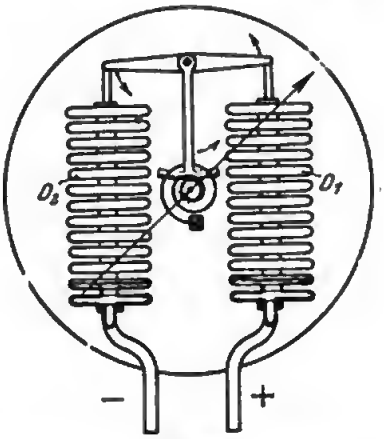


Abb. 261.
Staudruck-Fahrtmesser mit Dosensätzen (A. E.-G.).

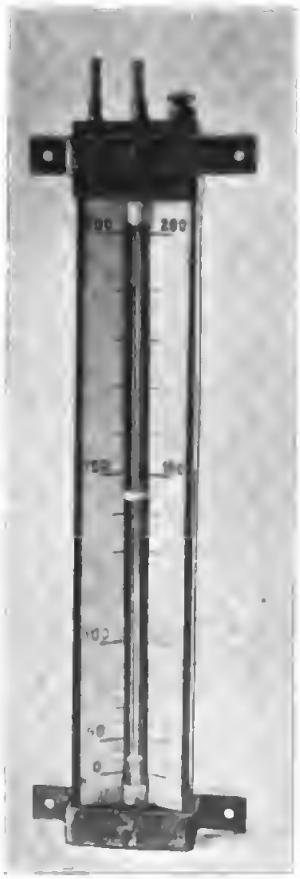


Abb. 260.
Staudruck-Fahrtmesser mit Flüssigkeitsmanometer.

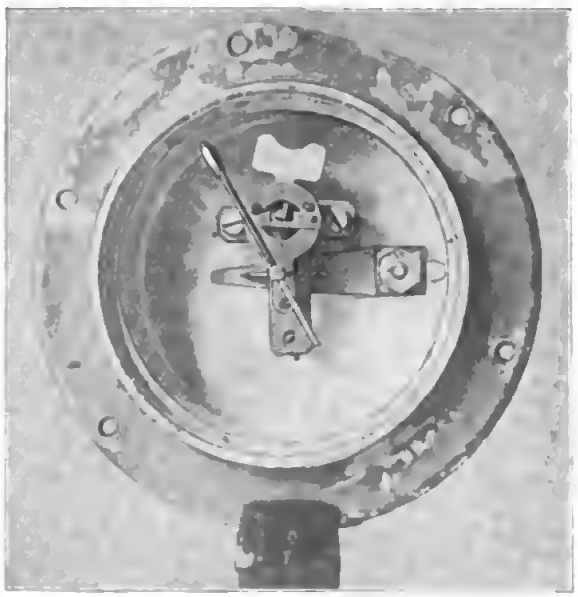


Abb. 262. Staudruck-Fahrtmesser mit Kautschukmembrane (franz.).

zeigen sich als zu instabil; sie leiden unter Erschütterungen und sind auch ziemlich kostspielig; deshalb haben sie sich nicht eingeführt. Dagegen sind Manometerdosen mit hochempfindlichen Kautschukmembranen (Abb. 262) namentlich bei unseren Gegnern viel in Gebrauch gewesen. Die bei uns damit gemachten Erfahrungen waren jedoch ebenfalls keine befriedigenden, was zum Teil auf die empfindliche

Übersetzung, mehr aber noch auf die Qualität des Membranenmaterials zurückzuführen ist. Den Übelstand, daß die Skala sich nach größeren Geschwindigkeiten stark verbreitert, kann man durch Gegenfedern (α der Abb. 263) leicht beheben

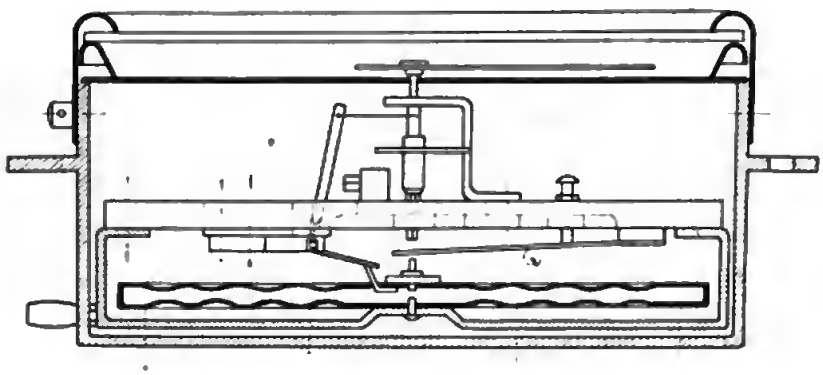


Abb. 263. Staudruck-Fahrtmesser mit Ausgleichsfeder a (Eckardt).

(Eckardt). Ein Schaubild solcher Anzeiger enthält Abb. 264. Manometer für Venturirohre können viel stabiler ausgeführt werden, da die Beiwerte dieser Rohre unschwer 13 und mehr erreichen können. (Die notwendige Empfindlichkeit des Manometers sinkt somit auf ein Dreizehntel.)

Abb. 264. Schaubild des Staudruck-Fahrtmessers (Eckardt).

Der weitere Vorteil des Venturirohrs, daß er nur einer Schlauchleitung bedarf im Gegensatz zur Doppelleitung des Pitotrohrs, ist bereits erwähnt worden. Die Berechtigung, den statischen Vergleichsdruck einer beliebigen Stelle des Rumpfes entnehmen zu dürfen, ergab sich für ein Venturirohr hohen Beiwertes aus be-

sonderen Versuchen. Die Einzelheiten des gebräuchlichsten Instruments dieser Art ergeben sich aus Abb. 265.

Für die Montage der Staudruckrohre gelten dieselben Gesichtspunkte wie für

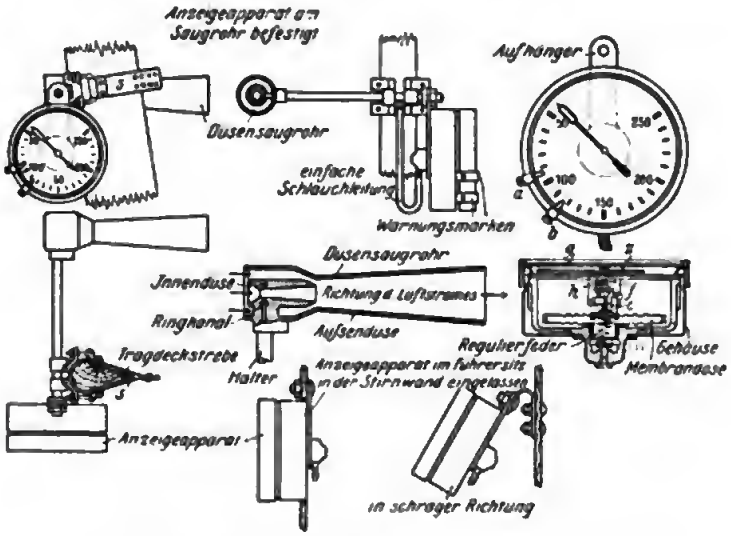


Abb. 265. Staudruck-Fahrtmesser (Bruhn).

die Schalenkreuze. Besonders zu beachten ist die absolute Dichtigkeit des Verbindungsrohrs. Als Material für dieses hat sich Gummi am besten bewährt; möglich ist auch Blei, doch wegen des Gewichts nicht sehr empfehlenswert; Aluminium-

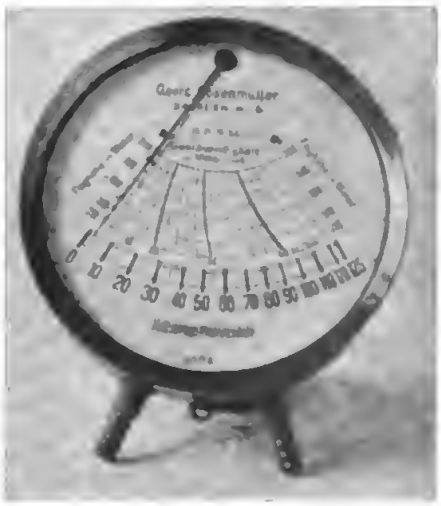


Abb. 266. Staudruck-Fahrtmesser mit Höhenkorrektion (Rosenmüller).

rohre sind zu spröde und lassen sich schlecht verbinden. Jedenfalls dürfen sie nicht zu eng sein (Minimum 3 mm lichte Weite).

Wie schon oben ausgeführt, mißt ein Staudruckmesser nicht eigentlich die Windgeschwindigkeit w, wie das Schalenkreuz, sondern die Größe $w^2\gamma$, wobei γ

die Dichte der Luft bedeutet. Da nun diese eine Funktion der Flughöhe und der Temperatur ist, so müßte zur Ermittlung von w namentlich erstere als die einflußreichere berücksichtigt werden. Anordnungen, die das mit möglichst geringem Aufwand bewerkstelligen, sind in Abb. 266—269 aufgeführt. Die Verwendung eines Diagramms (Abb. 266) über dem der Zeiger spielt, entspricht der Forderung

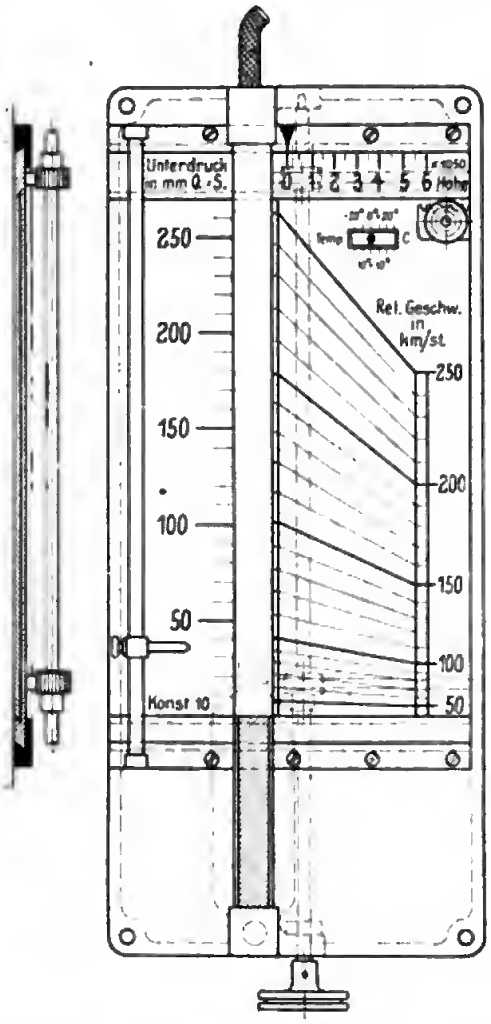


Abb. 267. Staudruck-Fahrtmesser mit Höhen- und Temperaturkorrektion (Bruhn).

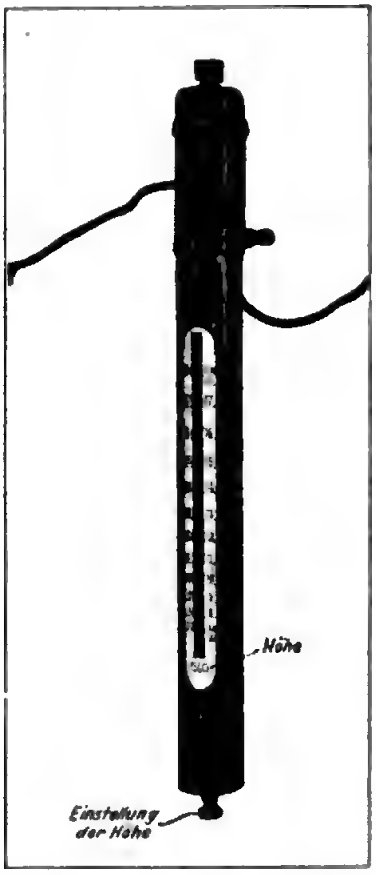


Abb. 268. Staudruck-Fahrtmesser mit Höhenkorrektion nach Dr. Neuber.

der einfachen Ablesbarkeit nicht; die folgenden Abbildungen geben Anordnungen, bei denen von Hand Skalen eingestellt werden, die der jeweiligen Höhe entsprechen. Eine weitere von der Firma Eckardt durchgeführte Möglichkeit besteht darin, daß man mit Hilfe einer Kordelschraube die Übersetzung des Werkes selber der Höhe anpaßt; derartige Geräte erfordern jedoch eine peinliche Justierung und sind zur Massenfabrikation nicht geeignet. Bei allen solchen Kombinationen wird der Grundsatz der elementaren Einfachheit durchbrochen.

Die vom normalen Staudruckmesser gelieferte Anzeige gibt eine Funktion, die für die Beurteilung der jeweiligen Schwebefähigkeit des Flugzeugs maßgebend ist. Man sollte deshalb das Gerät auch nur für diesen wichtigen Zweck verwenden.

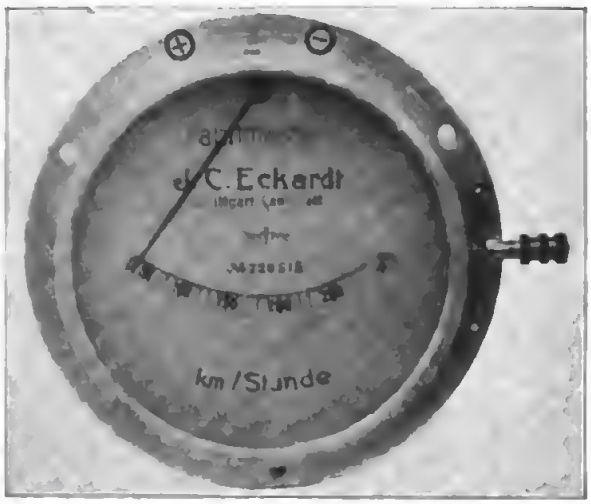
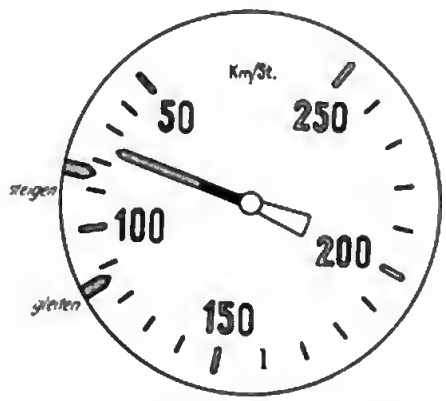


Abb. 269. Staudruck-Fahrtmesser mit Höhenkorrektion (Eckardt).

So tritt z. B. der Moment des Durchsackens immer bei einer bestimmten Größe des Staudrucks ein, nicht aber bei einer solchen der Relativgeschwindigkeit. Wir haben also einen vortrefflichen Stabilitätsmesser vor uns. In diesem Sinne kann er die Aufgabe eines Längsneigungsmessers übernehmen, wie wir bereits S. 134



Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes ca. 102 mm. Durchmesser des inneren Teilstrichkreises 77 mm. Kurze Striche: Länge 5 mm, Stärke 1,3 mm. Lange Striche: Länge 7,5 mm, Stärke 2 mm. Größe der Zahlen: 8 mm, Strichstärke 1,2 mm. Schwarzer Grund, weiße Zahlen und Zeiger. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

Abb. 270. Normalzifferblatt des Staudruck-Fahrtmessers.

betonten. Um ihn hierzu noch besonders geeignet zu machen, hat man am Rande seines Anzeigers verstellbare Marken (*a* und *b*; siehe Abb. 265 und Abb. 270) vorgesehen, die die besonders wichtigen Staudruckgrenzwerte für Steigen und Gleiten angeben; sie sind natürlich für die jeweiligen Flugzeugtypen einzustellen. Solche Marken sind besonders dann von Wert, wenn der Pilot den Typ häufig wechselt; von noch größerer Bedeutung sind sie für den Schulbetrieb. Nach den gemachten

Erfahrungen hätte mancher Absturz eines Schülers durch den sachgemäßen Gebrauch von solchen Geräten vermieden werden können.

Das normalisierte Schaubild gibt Abb. 270.

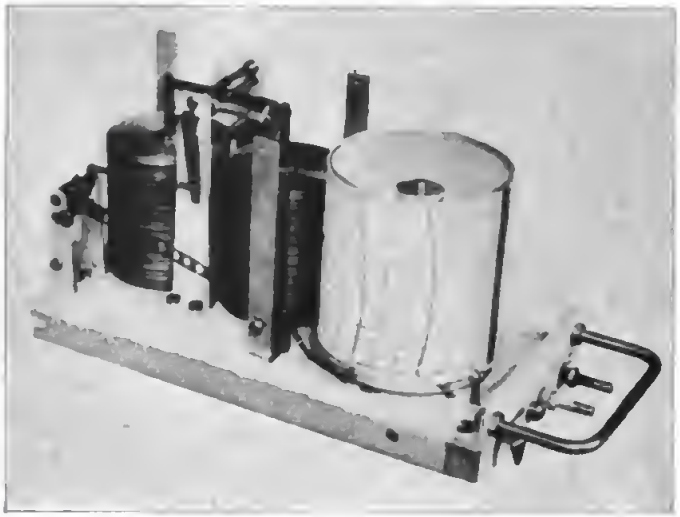


Abb. 271. Staudruck-Fahrtschreiber (A. E.-G.).

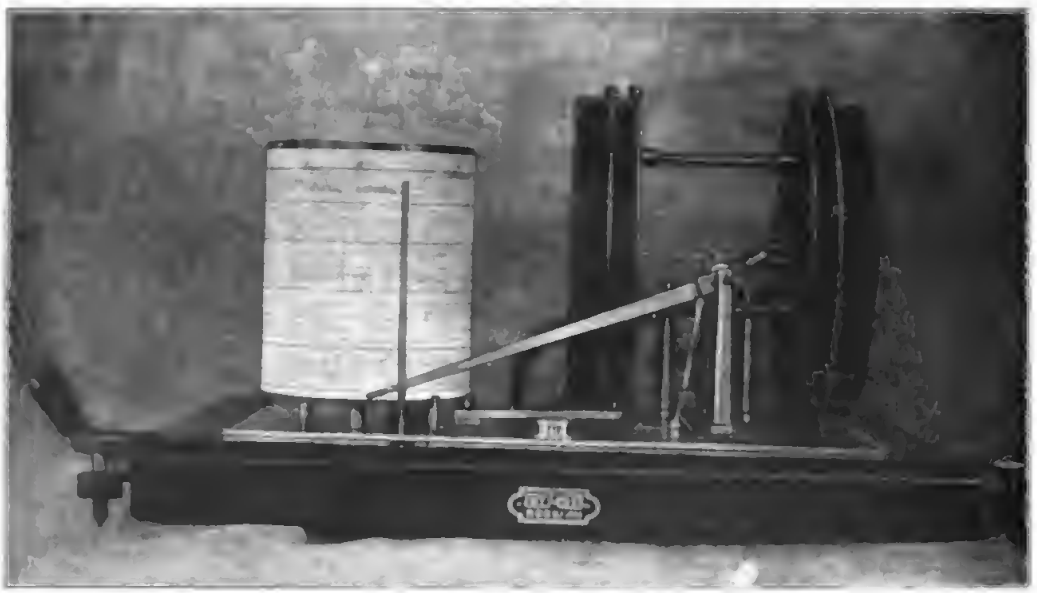


Abb. 272. Staudruck-Fahrtschreiber (Atmos).

Zwei Arten von Staudruckschreibern zeigen Abb. 271 und 272. Heute würde man besser Venturirohre für diesen Zweck verwenden.

c) Eichung von Fahrtmessern.

Die den Eichungen zugrunde gelegte Staudrucktabelle (siehe unten, in Kurvenform Abb. 273) ist auf Grund eines Barometerstandes am Boden von 762 mm Hg,

einer Bodentemperatur von + 10° C und einer Temperaturabnahme von 5° pro 1000 m Höhe errechnet.

Staudrucktabelle.

Druckhöhe in mm Wassersäule.

Geschwindigkeit in km pro Stunde	Höhe in km								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
50	12,3	11,1	10,0	9,0	8,0	7,2	6,4	5,7	5,0
60	17,7	16,0	14,4	12,9	11,6	10,4	9,2	8,2	7,3
70	24,1	21,8	19,6	17,6	15,7	14,1	12,5	11,2	9,9
80	31,4	28,4	25,5	23,0	20,5	18,4	16,4	14,6	13,0
90	39,9	36,0	32,5	29,0	26,0	23,3	20,7	18,5	16,4
100	49,2	44,5	40,0	36,0	32,1	28,8	25,6	22,8	20,3
110	59,6	53,7	48,5	43,5	38,8	34,8	31,0	27,6	24,5
120	70,9	63,8	57,6	51,7	46,2	41,3	36,8	32,9	29,2
130	83,2	75,0	67,5	60,8	54,3	48,6	43,3	38,6	34,2
140	96,6	87,2	78,4	70,5	63,0	56,4	50,2	44,8	39,7
150	110,7	99,5	90,0	80,8	72,2	64,6	57,5	51,3	45,5
160	126,0	113,5	102,3	92,0	82,1	73,5	65,5	58,4	51,9
170	142,0	128,0	115,3	103,8	92,8	83,0	74,0	66,0	58,5
180	159,5	144,0	129,5	116,5	104,0	93,2	83,0	74,0	65,6
190	177,5	160,0	144,5	129,5	116,0	103,6	92,5	82,5	73,0
200	197,0	177,4	160,0	143,8	128,5	115,0	102,5	91,5	81,0
210	217,0	196	176,3	158,7	141,6	127,0	113,0	101,0	89,4
220	238,0	215	194	174	156	139	124	111	98
230	261,0	235	211	190	170	152	135	121	107
240	283	255	230	207	185	166	148	132	116,5
250	307,0	277	250	224	200	179	160	143	126

Barometerstand am Boden 762 mm. Temperatur am Boden + 10 °.
Temperaturabnahme 5 ° pro km. Dichte der Luft am Boden 1,25 kg/cbm.

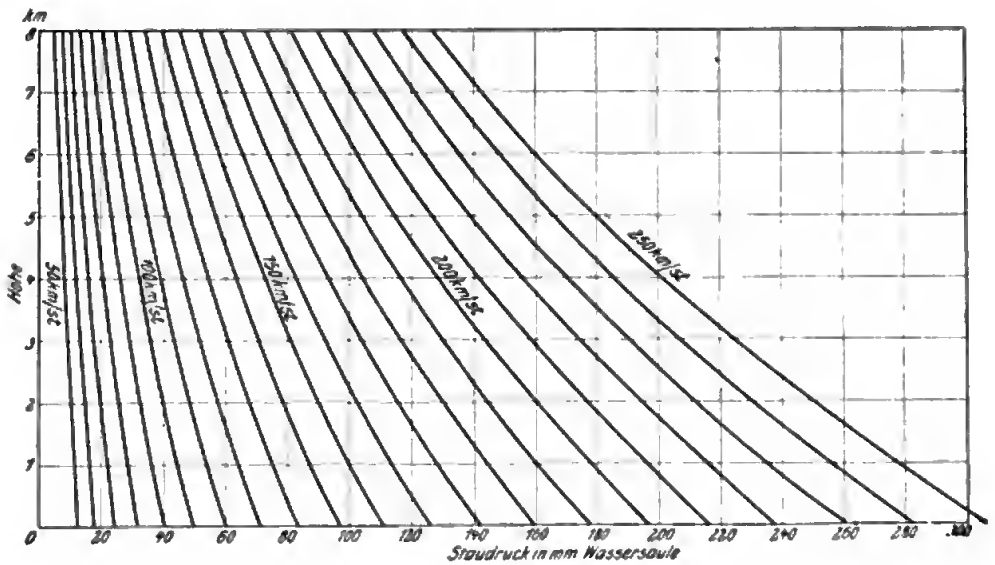


Abb. 273. Staudruckkurven.

Einige Worte noch über die zur Eichung von Fahrtmessern benötigten Windkanäle. Reiches Material darüber befindet sich in den Arbeiten der aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen, so daß wir uns hier auf einige praktische Hinweise beschränken können.

Man unterscheidet offene und geschlossene Kanäle; für Fabrikbetriebe, denen größere Räume zur Verfügung stehen, eignen sich die ersteren besser, da sie billiger sind und weniger Energie beanspruchen. Außerdem unterliegen sie während der Serieneichung weniger dem Temperaturwechsel, während in geschlossenen Kanälen in solchen Fällen ein starker Temperaturanstieg zu beobachten ist. Der Querschnitt des Prüfraums für Schalenkreuze und Staurohre soll nicht weniger als 25 cm im Quadrat betragen, besser mehr; für Luftschrauben genügt dieser Raum im allgemeinen nicht. Beschränkt man sich auf die angegebenen Maße, so wird man bei geeigneter Konstruktion mit einem Energieverbrauch von etwa 20 PS zu rechnen haben, um eine Prüfung im Bereich der normal auftretenden Fluggeschwindigkeiten durchführen zu können. Um die Grenze noch weiter nach oben zu verschieben, kann man zur Not Einsätze verwenden, die den Versuchsraum auf etwa 15 cm im Quadrat einschränken. Für Schalenkreuze ist jedoch dann die Homogenität der Strömung nicht mehr ausreichend. Letztere wird durch Gradführung der dem Meßraum benachbarten Teile des Kanals und durch Einsetzen weitmaschiger Lamellensiebe in genügendem Grade erreicht, nur dürfen sich die Siebe nicht zu nahe am Meßraum befinden.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Standort des Vergleichsstaurohrs zuzuwenden. Als Meßgerät benutzt man am besten mit verdünntem Alkohol oder auch Wasser gefüllte Manometerrohre; im ersten Falle hat man das spezifische Gewicht der Lösung von Zeit zu Zeit zu eichen, was vorteilhaft durch Vergleich mit einem Quecksilbermanometer erfolgen kann. Ein solches zur Messung direkt zu verwenden, ist unpraktisch, da sich die geringen Drucke in der Serie nur mühsam ablesen lassen.

Bei der Eichung ist selbstverständlich auf die Temperatur des Prüfraums Rücksicht zu nehmen; auch stärkere Barometerschwankungen sind zu beachten. Die Einbringung des Prüflings hat stets an derselben, zuvor als geeignet ermittelten Stelle zu geschehen, am einfachsten durch Verwendung fixierter Stative. Der Meßraum ist zu Beginn der Messung durch Abtasten mit einem Vergleichsrohr auf Luftschattenbildung, verursacht etwa durch Siebe oder vorspringende Kanten, zu prüfen. Bei der Messung von Venturirohren ist zu beachten, daß auch seitlich oder schräg hinter denselben befindliche Gegenstände (Stativteile) einen merklichen Einfluß ausüben können.

d) „Drelecksmessung".

Für die Leistungsmessung im Horizontalflug reichen erfahrungsgemäß die Angaben weder der Schalenkreuze noch der Staudruckmesser aus; einmal liegt das an der Unvollkommenheit dieser Apparate; mehr noch daran, daß ihre Anzeigen im Fluge begreiflicherweise etwas schwanken, was im wesentlichen auf unwillkürliche Steuerbewegungen zurückzuführen ist. Für die Leistungsmessung sind nun diese Schwankungen belanglos, ja störend; erwünscht ist lediglich die genaue Kenntnis des Mittelwertes.

Digitized by Google

Um diesen zu erhalten, müßte man Fahrtschreiber verwenden, deren Diagramm nachträglich auszuplanimetrieren wäre. Leider sind jedoch Geräte dieser Art noch weniger zuverlässig, da sie Energie verbrauchen. Am ersten käme noch der Staudruckschreiber in Betracht. Natürlich hat man bei allen solchen Auswertungen die Luftdichte der jeweiligen Flughöhe zu berücksichtigen.

Viel erfolgreicher für genannten Zweck ist jedoch das Verfahren der „Dreiecksmessung", dem wir uns nun zuwenden wollen.

Ein Flugzeug beschreibe in konstanter Höhe ein Dreieck. Angenommen, man könne vom Boden aus mittels Triangulation die einzelnen absoluten Geschwindigkeiten in den drei Geraden hinreichend genau ermitteln. Man trage nun diese drei Größen als Vektoren von einem Punkt A aus auf und erhält damit drei Punkte, durch die man einen Kreis mit dem Mittelpunkt B legt. Dann stellt der Halbmesser dieses Kreises die Relativgeschwindigkeit des Flugzeugs dar; nebenbei erhält man im Vektor $A\,B$ die Windrichtung und -stärke.

Die Messung der Absolutgeschwindigkeit wird durch zwei getrennt aufgestellte Theodoliten bewerkstelligt. Da die Messungen genau gleichzeitig erfolgen müssen, sind die Stationen elektrisch verbunden. Eine Rechnung lehrt, daß an die Ausführung sehr hohe Ansprüche gestellt werden müssen, wenn das Verfahren brauchbar sein soll. Eine Genauigkeit von 2 % verlangt Winkelbestimmungen auf mindestens 1 Bogenminute und Zeitmessungen auf $^1/_{50}$ Sekunde. Mit gewöhnlichen Geräten ist das aber überhaupt nicht zu erreichen.

Die Firma Bamberg hat deshalb Spezialgeräte ausgebildet, die alle Bedingungen erfüllen. Die Messung geschieht hier durch Photographie auf Filmstreifen, wobei auf dem Bilde neben dem anvisierten Objekt die Stellungen der Teilkreise erscheinen. Die Auslösung erfolgt durch Stromschluß gleichzeitig und kann alle halbe Sekunde wiederholt werden. Die einzige Schwierigkeit besteht darin, die Anvisierung des Objektes während der ganzen Messung peinlich genau innezuhalten. Um kleine Fehler dabei berücksichtigen zu können, erscheint das Objekt in einer Strichplatte, die nachträgliche Korrekturen ermöglicht. In dieser Form ist das Verfahren nun einwandfrei; zu einer kompletten Anlage gehören noch feste Fundamente, Schutzhäuschen, Telephonschränke, Kontaktchronometer und anderes mehr, so daß sie eine recht anspruchsvolle Angelegenheit geworden ist. Aber die Praxis scheint zu beweisen, daß die Erfolge die Mittel rechtfertigen.

4. Beschleunigungsmesser.

a) Allgemeines.

Bereits im vorigen Kapitel (S. 200) hatten wir Beschleunigungsmesser erwähnt, deren Funktion wesentlich dazu diente, durch automatische Integration absolute Geschwindigkeiten zu bestimmen. Aber auch die Kenntnis der Beschleunigung selbst, insbesondere ihrer vertikalen Komponente, besitzt eine gewisse Bedeutung. Beim Abfangen nach Sturzflügen können (negative) Beschleunigungen entstehen, die die Tragflächen über das zulässige Maß hinaus beanspruchen. Es ist ein leichtes, diese Gefahr zu vermeiden, wenn man die auftretenden Kräfte kennt. Für die experimentelle Aerodynamik ist ein derartiges Instrument, sobald es zuverlässig

arbeitet, sogar ein ungemein wertvolles Hilfsmittel, von dem bisher noch viel zu wenig Gebrauch gemacht worden ist. Lehnten wir oben auch Geschwindigkeitsmesser ab, die sich auf solchen Geräten aufbauen, so geschah dies hauptsächlich, weil wir bisher noch nicht über geeignete Integrationsvorrichtungen verfügen; der Beschleunigungsmesser als solcher ist sehr wohl durchführbar und sogar einer beträchtlichen Genauigkeit fähig. Das Messen einer Beschleunigung in der Flugzeuglängsachse ist bisher bedeutungslos (da wir nicht an Geschwindigkeitsmessung denken); wir beschränken uns deshalb lediglich auf die Messung der Vertikalkomponente.

b) Besondere Ausführungsformen.

α. Federgerät.

Wie wir bereits bemerkten, beruht jede Beschleunigungsbestimmung darauf, daß man der beschleunigenden Kraft eine elastische (auch elektrische oder magnetische) Kraft entgegensetzt, das heißt eine solche, die selber der Beschleunigung nicht unterliegt. Man denke sich eine Masse an einer Feder angebracht, so hat man den einfachsten Fall eines solchen Instrumentes. Die Ablesung wird jedoch durch die Eigenschwingungen sehr gestört. Eine etwas günstigere Form enthält Abb. 274. Hier sind eine Anzahl von Gewichten nebeneinander angeordnet, die an elastischen Federn befestigt sind. Die Gewichte ruhen für gewöhnlich auf einer Leiste, die sie verschieden stark belasten; man erreicht dies entweder dadurch, daß man die Gewichte verschieden schwer wählt oder daß man die Federn mit Hilfe einer Regulierschraube verschieden stark anspannt. Tritt nun eine Beschleunigung nach unten auf, so werden sich diejenigen Gewichte zuerst von der Leiste abheben, die sie am geringsten belasten. Durch richtige Abstimmung kann man so eine Skala gewinnen, die eine stufenweise Messung ermöglicht, wie Abbildung andeutet. Die Eigenschwingungen machen sich bei dieser Einrichtung kaum störend bemerkbar; man könnte sie überdies leicht beseitigen, indem man z. B. das Ganze in einer dämpfenden Flüssigkeit unterbringt. Um entgegengesetzte Beschleunigungen zu messen, ordnet man die Vorrichtung umgekehrt an.

Abb. 274. Beschleunigungsmesser mit Federn.

β. Quecksilbergerät.

Eine weitere Möglichkeit gibt Abb. 275. Ein beiderseitig geschlossenes, unten umgebogenes Barometerrohr enthält Quecksilber; durch auf beiden Seiten vorhandene aber unter verschiedenen Drucken stehende Luftpolster werden Menisken verschiedener Höhe erzielt. Unterliegt ein solches Rohr einer vertikal nach unten gerichteten Beschleunigung, so werden auf beide Schenkel verschiedene Kräfte ausgeübt, und der höhere Meniskus beginnt zu steigen. Man bringt übrigens dies Gerät ebenso wie das frühere im Kardan an. Durch geeignete Wahl des Lumens

der Kapillare kann man leicht die nötige Dämpfung erzielen. Nachteilig ist bei dieser Anordnung der kleine Ausschlag. Nach Vorschlag des Verfassers läßt sich dies dadurch beheben (siehe Abb. 276), daß man über das Quecksilber eine leichte Flüssigkeit schichtet, die in einer engen Kapillare aufsteigt. Sie dient lediglich zur Vergrößerung des Ausschlages und ändert an dem Prinzip nichts Wesentliches. Da aber solche Geräte unter Umständen als Thermometer wirken können, müssen sie noch mit einem besonderen Temperaturschutz, etwa einem versilberten Vakuumrohr, umgeben sein. Für den praktischen Gebrauch sind sie in dieser Form ihrer Zerbrechlichkeit wegen nicht geeignet, wohl aber zu Versuchszwecken.

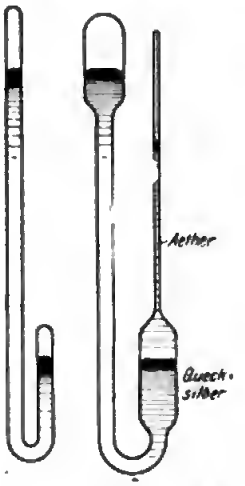


Abb. 275 und 276. Beschleunigungsmesser nach Bennewitz.

In den zuletzt behandelten Instrumenten wird das elastische Medium durch komprimierte Gase gebildet; man kann auch magnetische Felder, etwa in Form von Solenoiden, verwenden; da jedoch durchgreifende Erfolge damit bisher nicht erzielt wurden, sehen wir von ihrer Beschreibung ab.

γ. Beschleunigungsschreiber.

Für wissenschaftliche Versuche kann es wünschenswert sein, die während des Fluges auftretenden Beschleunigungen schriftlich zu fixieren. Dazu erweist sich die in Abb. 274 gegebene Form besonders geeignet; die Durchführung im einzelnen brauchen wir hier nicht zu erörtern.

δ. Maximalbeschleunigungsmesser.

Für die Praxis dagegen kann ein anderer Fall von Bedeutung sein, daß man nämlich von der dauernden Kontrolle absieht und sich darauf beschränkt, nur bei Überschreitung einer gewissen Maximalbeschleunigung ein Zeichen geben zu lassen. Wählt man dafür ein optisches Signal (Warnlampe), so ließe sich für diesen besonderen Zweck vielleicht das Gerät der Abb. 275, natürlich in verkleinertem Maßstabe, ausbauen; bei einer Kontaktauslösung spielt die Kleinheit des Weges keine Rolle. Was jedoch über den Nachteil solcher Warnsignale an anderer Stelle (S. 62) gesagt war, soll hier nicht wiederholt werden.

ε. Spannungsmesser.

Zweck der Beschleunigungsmessung ist in erster Linie die Kontrolle über die am Flugzeug auftretenden Spannungen; statt nun erstere zu bestimmen, kann man auch letztere direkt messen. Diese äußern sich besonders an den Kabeln. Zum Zweck des Versuchs ist es ohne weiteres möglich, ein Kabel an irgendeiner Stelle zu unterbrechen und durch eine starke Zugfeder zu verbinden. Wenn es auch nicht einfach sein dürfte, die Deformationen dieser Feder dem Flieger zu übermitteln, so läßt sich doch leicht eine Kontaktvorrichtung ausbilden, die gewisse

Maximalspannungen anzeigt. Hiervon ist in der Praxis hin und wieder Gebrauch gemacht worden; zweifellos ist das Verfahren aber wenig empfehlenswert, weil es einen derben Eingriff in ein wichtiges Organ des Flugzeugs erfordert. Vorzuziehen ist folgender Ausweg: man führt neben dem ungetrennten Kabel einen etwa an den Holmen befestigten Hilfsdraht entlang, in den die oben beschriebene Meßfeder eingeschaltet ist.

Gegen die zuerst erwähnte Art der Messung wurde das grundsätzliche Bedenken erhoben, daß bei Vorhandensein mehrerer Kabel ihre Spannung sehr verschieden sein könne. Das ist an sich richtig und z. B. bei Diagonalverspannung direkt zu beobachten. Selbstverständlich scheiden alle nur auf Stand tragenden Kabel aus. Von den übrigen sind die meist vorhandenen Stirnkabel die wichtigsten. Darüber hinaus läßt sich die mittlere Spannung durch den oben erwähnten Hilfsdraht leicht nachweisen, wenn er an aerostatisch richtigen Stellen angreift. Schließlich ist der automatische Ausgleich der Kabelspannungen durch geeignete Kabelschuhe durchaus möglich und des öfteren erwogen worden.

ζ. Durchbiegungsmesser.

Schließlich könnte man auch an optische Meßverfahren denken. Im Rumpfe sei ein Fernrohr fest montiert; es sei auf einen kleinen, etwa am oberen Ende des Holmens angebrachten Spiegel gerichtet, der eine am Rumpfe befindliche Skala reflektiert. Bei verschiedener Beanspruchung verschiebt sich alsdann das Skalenbild für den Beobachter. Dieses Verfahren, das recht genau sein kann, hat jedoch ausschließlich für Versuche Bedeutung. Die hauptsächlichsten Schwierigkeiten liegen in der theoretisch wie praktisch richtigen Fixierung des Fernrohrs und in der Vermeidung von Vibrationen.

Daß Staudruckrohre, wie sie für Fahrtmesser verwendet werden, in gewissem Sinne zur Druckmessung benutzt werden können, sei hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Neuere Literatur: Geschwindigkeits- und Abtriftmesser: Aeronautics **17**, 265—266 (1919). — Staudruckmesser: A. F. Zahm, Journ. of the Franklin Inst. **188**, 771—774 (1919); Fuhrmann, Jahrb. d. D. Versuchsanst. f. Luftfahrt I (1912/13), 232—236. — Windräder: H. Baudisch, Zeitschr. f. d. ges. Turbinenwesen **17**, 125—128, 136—139 (1920).

Abschnitt III.

Geräte zur Beleuchtung des Flugzeuges und des Landeplatzes, sowie Signalgerät.

A. Die elektrische Zentrale im Flugzeug.

1. Strombedarf.

Der Strombedarf im Flugzeug ist sehr vielseitig; wir wollen zuerst die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten zusammenstellen.

Es wird benötigt:

1. Gleichstrom 4 Volt für
   Instrumentenbeleuchtung,
   Positionslampen,
   kleines Signalgerät,
   Fernthermometer,
   Telephon, Verständigungsgerät,
   Kühlwasserthermometer mit Warnlampe.
2. Gleichstrom 6—12 Volt für
   Heizspannung von Kathodenröhren,
   elektrisches Maschinengewehr,
   Klaxone,
   Scheinwerfer,
   Rampenbeleuchtung,
   evtl. Servomotoren (automatische Gasregulierung),
   Motorzündung (Induktion),
3. Gleichstrom 16 Volt für
   Selenkompaß.
4. Gleich- oder Wechselstrom von 50 Volt für
   Heizung der Bekleidung,
   „ der Steuerorgane (des Maschinengewehrs),
   „ des Kompasses.
5. Gleich- oder Wechselstrom höherer Spannung für
   Heizung der Kabine (?).
6. Gleichstrom von 500—750 Volt oder Wechselstrom 500 Perioden zum Betrieb des drahtlosen Senders.

Digitized by Google

7. Gleichstrom 35—100 Volt für
Anodenbatterien für Lautverstärker,
großes Signalgerät.

8. Dreiphasenstrom für
Kreiselkompaß,
Kreiselneigungsmesser,
Stabilisatoren.[1])

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man, daß der Bedarf ein äußerst verschiedenartiger ist. Auf den ersten Blick scheint eine gewisse Willkür namentlich in der Wahl der Spannungen zu liegen; zur Begründung diene folgendes: Als Einheit für Kleinbeleuchtungszwecke ist eine Spannung von 4 Volt deshalb vorgesehen, weil alle im Handel zu beziehenden Zwerglampen in dieser Spannung hergestellt werden; wollte man zu anderen übergehen, so würde damit der augenblicklich sehr einfache Ersatz unnötig erschwert. Daß man eine solche Spannung von 4 Volt nur schwer zu Heizzwecken verwenden kann, liegt auf der Hand; andererseits darf die Heizspannung namentlich für Kleidungsstücke nicht so hoch gewählt werden, daß bei einem Defekt der Leitung gefährliche Funkenbildung auftreten kann. Auch lassen sich Servomotoren vorteilhaft mit mittleren Spannungen betreiben. Die Rampenbeleuchtung baute sich auf vorhandene Typen von Reflektorbirnen auf, deren Spannungsbedarf auf 12 Volt (überspannt) festgelegt war. Der Selenkompaß, der 16 Volt benötigt, wäre vielleicht auch durch 12 Volt zu betreiben, was jedoch eine Umkonstruktion bedingt. Was die verschiedenen für die Funkentelegraphie benötigten Spannungen betrifft, so wird auf den entsprechenden Band dieser Sammlung hingewiesen; jedenfalls sind sie als festgelegt zu betrachten. Ähnliches gilt von den verschiedenen Kreiselgeräten, für die ausschließlich Dreiphasenstrom in Betracht kommt.

Wie man sieht, läßt sich eine wesentliche Reduktion der Stromarten nicht herbeiführen.

2. Stromquellen.

Als Stromquellen kommen in Betracht: Akkumulatoren und Generatoren.

a) Akkumulatoren.

Diese haben sich im Flugzeug nicht schlecht bewährt. Wenn sie vor größerer Kälte (bis zu — 10°) geschützt werden, arbeiten sie einwandfrei; Erschütterungen vertragen sie im allgemeinen gut. Das Ausfließen der Säure wird durch die Anordnung eines Säureschutzraumes (siehe Abb. 277) verhindert. An Stelle von Glaströgen zieht man Cellontröge vor, weil sie leichter sind und Stößen besser standhalten. Man verwandte zwei Größen, einen kleinen Typ zu 2 Zellen und einen großen Typ zu 6 Zellen. Ihre Kapazitäten betragen etwa 20 Amperestunden. Verschiedene Unfälle zeigten, daß bei eintretendem Kurzschluß Akkumulatoren dieser Größe eine erhebliche Gefahr für das Flugzeug bilden können; es wurde

[1]) Siehe auch die Zusammenstellung bei E. Niemann, Jahrb. d. drahtl. Telegraphie u. Telephonie Bd. 14, Heft 1 S. 73, sowie Band IX dieses Handbuches.

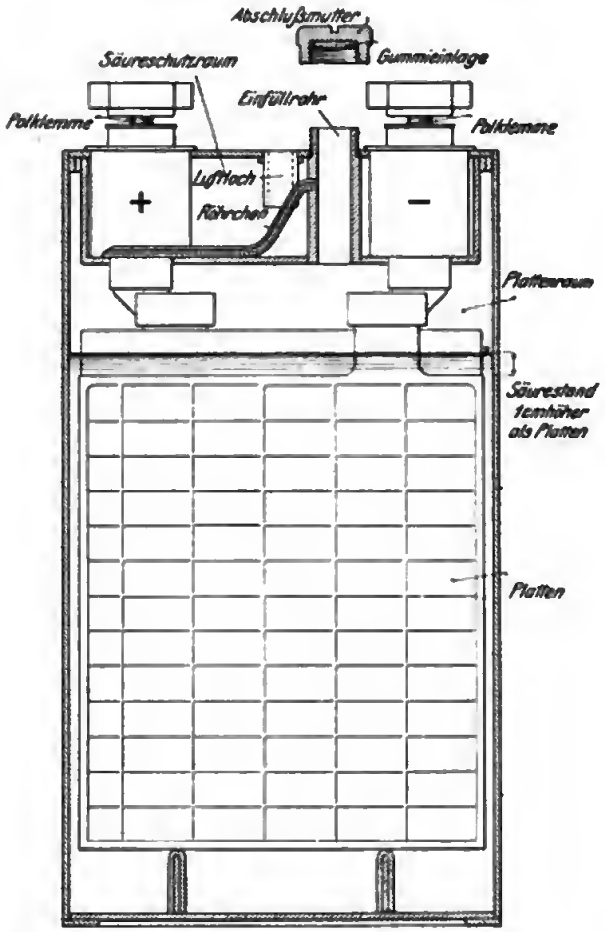


Abb. 277. Akkumulator (Varta).

Abb. 278. Akkumulator, großer Typ, mit Sicherung (Varta).

deshalb vorgeschrieben, daß jeder Akkumulator eine direkt an ihn montierte Sicherung erhält. Die Unterbringung derselben machte einige Schwierigkeiten; es stellte sich nämlich heraus, daß unmittelbar über dem Säureraum untergebrachte Klemmkontakte durch Säuredämpfe leicht angegriffen werden. Die Verlegung nach außen (Abb. 278) beeinträchtigte wieder die Geschlossenheit des ganzen; eine Standardform für die Sicherung wurde bisher noch nicht erreicht.

b) Generatoren.

Die für die einzelnen Zwecke benötigten Generatoren sind zu verschiedenartig, als daß wir hier auf ihre Einzelheiten eingehen könnten. Auch bieten sie in ihrem inneren Aufbau nichts dem Flugzeug Eigentümliches; charakteristisch ist für sie vielmehr die Art ihres Antriebs und ihrer Kopplung. Man unterscheidet Luftschraubenantrieb und direkte Kopplung mit dem Motor. Um die erstere Art willkürlich ein- und ausschalten zu können, hat man verschiedene Mittel ersonnen (über die Einzelheiten dieses und des folgenden siehe den Band Funkentelegraphie dieser Sammlung). Läßt man die Luftschraube während des ganzen Fluges rotieren, so benötigt man einer Schleifkopplung; in diesem Falle wird unnötiger Luftwiderstand vermieden. Man kann aber auch so verfahren, daß man Anker und Luftschraube starr verbindet und das ganze nach Bedarf arretiert; dabei tritt jedoch ein unerwünschter Luftwiderstand auf. Beide Verfahren haben sich nicht sehr bewährt und zwar deswegen, weil die Kopplungen den hohen Tourenzahlen nicht standhielten und nach kurzem Gebrauch versagten oder verbrannten (Leder).

Man ging deshalb zur direkten Verbindung mit dem Motor über, und zwar benutzte man fast ausschließlich Triebketten. Die Sicherheit des Ganges war dadurch im wesentlichen gewährleistet, wenn auch anfangs häufig Kettenbrüche auftraten; der Versuch, in dieses Aggregat eine Kopplung einzubauen, führte jedoch wieder nicht zum vollen Erfolg.

3. Vorzüge und Nachteile der Stromquellen.

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, daß im wesentlichen drei Formen in Frage kommen: 1. Akkumulatoren, 2. Generatoren mit Luftantrieb, 3. Generatoren mit Motorantrieb. Es gilt nun zu entscheiden, für welche Zwecke diese drei Arten brauchbar sind, unabhängig von der Stromart. Während z. B. Funkentelegraphie, Heizung und Kreiselgeräte erst im Fluge in Tätigkeit zu treten brauchen, muß die Beleuchtung immer, auch bei stehendem Motor, betriebsfähig sein. Ja noch mehr: einzelne Verwendungszwecke erhalten gerade dann erhöhte Bedeutung, wenn etwa ein Maschinendefekt den gekoppelten Generator außer Betrieb gesetzt hat. Wir stellen im folgenden die Vorzüge und Nachteile der Stromquellen schematisch zusammen.

	Vorteile:	Nachteile:
1. Akkumulatoren	immer gebrauchsfertig seltenes Versagen konstante Spannung	kleine Kapazität kleine Spannung häufiges Laden großes Gewicht

2. Generator (Schraube)	arbeitet im Fluge	versagt auf Stand
	arbeitet im Gleitflug	versagt beim Start
	unabhängig von Motordefekten	versagt bei der Landung
	unbegrenzte Kapazität	wechselnde Tourenzahl
	unbegrenzte Spannung	
3. Generator (gekoppelt)	arbeitet auf Stand (laufender Motor)	versagt bei Motordefekt
	arbeitet beim Start	versagt bei der Landung
	arbeitet im Fluge	versagt auf Stand (stehender Motor)
	wenig wechselnde Tourenzahl	versagt im Gleitflug
	unbegrenzte Kapazität	
	unbegrenzte Spannung	

Aus dieser Zusammenstellung geht folgendes hervor: Es arbeiten

auf Stand	1	.	3
beim Start	1	.	3
im Fluge	1	2	3
bei Motordefekt . . .	1	2	.
im Gleitflug	1	2	.
bei der Landung . . .	1	.	.

Für die Landung kommt also ausschließlich der Akkumulator in Frage. Von all den auf S. 221 genannten Verwendungszwecken spielen aber bei der Landung selber lediglich die Instrumentenbeleuchtung, die Positionslampen und der zur Selbsterhellung der Landebahn benutzte Scheinwerfer bzw. die Rampenbeleuchtung eine Rolle, und auch diese nur, soweit es sich um einen Flug bei Dunkelheit handelt. Zuerst hätten wir also den Schluß zu ziehen, daß wir die genannten drei Kategorien unbedingt an den Akkumulator anzuschließen haben. Da nun Scheinwerfer oder Rampenbeleuchtung schwerlich mit 4 Volt gespeist werden können, vielmehr der bisher verwandte 12 Volt-Sammler erfahrungsgemäß gerade noch hinreicht, so ist damit auch über die Größe entschieden.

Ist also für Nachtflüge — und Landungen bei Dunkelheit dürften auch beim zukünftigen Verkehrsflug eine erhebliche Rolle spielen — ein solcher 12 Volt-Sammler vorhanden, so können alle anderen Kategorien, soweit sie gleiche oder kleinere Spannungen benötigen, diesem angeschlossen werden.

Alle höheren Spannungen verweisen auf den Generator. An Hand der kleinen Tabelle wird jedoch die Wahl, ob Luftschraubenantrieb oder Motorantrieb, nicht im entscheidenden Sinne gelöst; für den Beginn des Fluges ist letzterer, für den — beabsichtigten oder unbeabsichtigten — Schluß des Fluges ersterer vorzuziehen; für den regulären Flug selber sind beide gleichwertig. Entscheidet man sich für Schraubenantrieb, so wird damit die Möglichkeit genommen, vor dem Fluge die verschiedenen Funktionen, z. B. die des Funkengeräts oder des Kreisels, zu erproben, ein Mangel, der nicht unterschätzt werden darf. Kreiselneigungsmesser erhalten ihre nötige Drehgeschwindigkeit erst längere Zeit nach dem Start, was bei Dunkelheit die Ausschaltung dieses gerade dann wichtigsten Instruments bedeutet (ein Fehler, den man bisher in Kauf nehmen mußte). Sollten endlich einmal Stabilisatoren entwickelt sein, so müssen diese natürlich schon vor dem Start in Betrieb gesetzt werden.

Entscheidet man sich dagegen für den direkten Anschluß an den Motor, so fallen zwar diese Bedenken fort, dafür entstehen aber neue. Gesetzt es sei ein Motordefekt eingetreten, so ist es für das Verkehrsflugzeug dringend erwünscht, dem funkentelegraphisch angeschlossenen Heimathafen während des Gleitfluges noch die Absicht der Notlandung und den Ort derselben mitzuteilen. Einerseits dürfte hierzu immer genug Zeit zur Verfügung stehen (Chiffre), andererseits ist eine solche drahtlose Benachrichtigung nach einmal erfolgter Notlandung nicht mehr möglich und anderweitige Mitteilung erfahrungsgemäß meist recht erschwert. Aber auch ohne an Motorpannen zu denken, kann sich das Flugzeug z. B. über einer Wolkendecke befinden; es sei schließlich gezwungen, diese zu durchstoßen (Ziel erreicht, Orientierung verloren, Benzin verbraucht). Für einen solchen Wolkenflug ist, wenn überhaupt, der Kreiselneigungsmesser am Platz. Dieser wird zwar bei gedrosseltem Motor nicht völlig versagen; seine Funktion wird aber unsicher, und ein schlecht arbeitender Neigungsmesser ist schlimmer als gar keiner. Wir wollen die Möglichkeiten nicht weiter ausmalen; jedenfalls ergibt sich für den gekoppelten Generator die Tatsache, daß er in wichtigen Momenten versagt.

Zunächst eröffnen sich zwei Auswege: entweder man sieht zwei Generatoren, je einen jeder Art vor, oder man konstruiert für den einzigen Generator eine Umsteuerung für beide Antriebe.

Was das erste betrifft, so könnte man daran denken, jeden der beiden Arten Generatoren für einen oder mehrere Verwendungszwecke zu reservieren, also ihre Funktionen gänzlich zu teilen. Nun sahen wir aber oben, daß sowohl Funkentelegraphie wie Kreiselgerät für besondere Fälle beider Arten bedürfen; die gedachte Teilung ist also unrationell. Nimmt man aber andererseits immer nur eine Art in Betrieb, betrachtet also die andere gewissermaßen als Reserve, so ist zwar damit eine Lösung gefunden, die jedoch kaum befriedigen dürfte. Einmal widerspricht es dem in der Einleitung betonten Prinzip, eine Reservebestückung nur auf solche Dinge auszudehnen, deren Verlust oder Versagen leicht eintreten kann und dann katastrophal werden könnte; dann aber belastet ein zweiter Generator das Flugzeug sehr überflüssig.

Der zweite Ausweg, also eine Umsteuerung des Generators auf Motor oder Luftschraube nach Wahl, erscheint nach diesen Betrachtungen als der einzig diskutable. Leider aber besitzen wir bisher noch kein hinreichend zuverlässiges Wechselgetriebe, das diese Funktion einwandfrei übernähme. Der Grund dafür ist, wie schon oben erwähnt wurde, die hohe Tourenzahl. Es wäre eine äußerst lohnende Aufgabe der Technik, hier mit allen Hebeln einzugreifen.

Damit sind die verschiedenen Möglichkeiten für das Ineinandergreifen der Stromquellen aber keineswegs erschöpft. Wenn überhaupt, so wird ein für Nachtflüge bestimmtes Flugzeug — und hierunter fallen voraussichtlich die meisten Verkehrsflugzeuge — einen Kreiselneigungsmesser und ebenso, schon wegen der Orientierung, ein F. T.-Gerät besitzen. Da es außerdem, wie wir oben sahen, unbedingt eines Akkumulators bedarf, der vornehmlich die Beleuchtung bei der Landung, aber natürlich auch während des Fluges besorgt, so entsteht naturgemäß die Frage, ob letzterer während des Fluges nicht durch ersteren entlastet werden kann. Einmal bedeutet die Rampenbeleuchtung einen hohen Wattverbrauch; auch wenn sie nur

kurze Zeit in Betrieb ist, kann eine Erschöpfung eintreten, wenn dem Sammler bereits vorher Strom entnommen wurde. Das kann z. B. der Fall sein, wenn etwa die Rampenlichter als Signalgerät verwendet werden, ein (reformierter) Selenkompaß daranliegt, andere Kleingeräte, Beleuchtung usw. ausgiebig benutzt werden oder wenn endlich versehentlich der Sammler vor dem Start nicht aufgeladen war. Für alle diese Fälle kann nun der Generator einspringen, und zwar in zweierlei

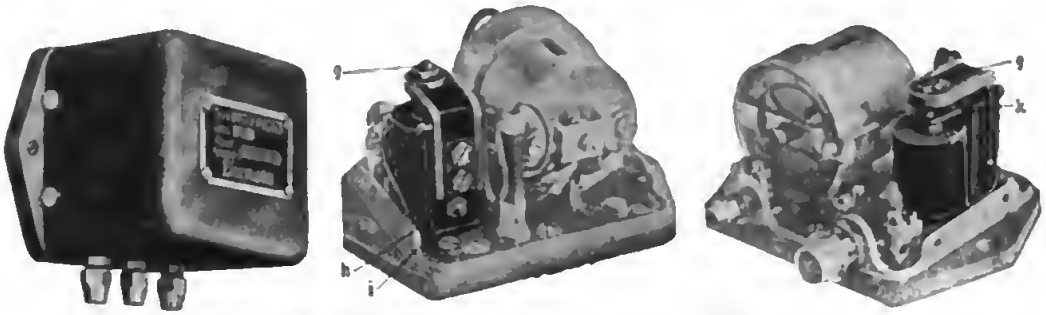
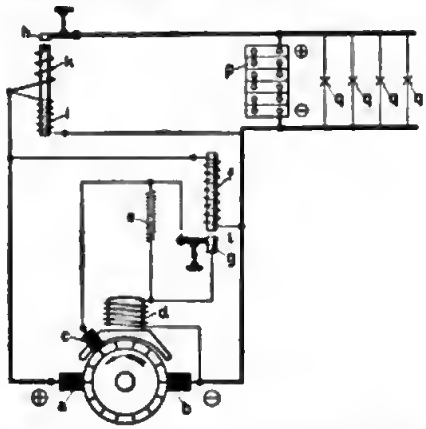


Abb. 279. Selbsttätiger Schalter und Regler (Eisemann).

Beziehung: er übernimmt während des Fluges die Betätigung genannter Elemente und lädt gleichzeitig den Akkumulator auf. Geht seine Fähigkeit dazu durch den Gleitflug oder einen Motordefekt zu Ende, so schaltet sich letzterer automatisch ein. Diese Aufgabe ist nun ohne weiteres lösbar und von der Firma Eisemann durchgeführt worden. Sie schuf den in Abb. 279 dargestellten Regler, dessen Schaltung und Wirkungsweise aus den Abb. 280 und 281 hervorgehen. Dieser



a u. *b*) Die Stromabnahmebürsten,
c) Die Hilfsbürste der Erregung,
d) Die Erreger-Wicklung der Lichtmaschine,
e) Widerstand im Erregerstromkereis,
f) Magnetspule für den Spannungsregler,
g) Kontakt für den Spannungsregler,
h) Beweglicher Kontakt des selbsttätigen Schalters,
i) Nebenschlußmagnet-Spule des selbsttätigen Schalters,
k) Hauptstrommagnet-Spule des selbsttätigen Schalters,
p) Batterie,
q) Lampen usw.

Abb. 280. Schema des Reglers (Eisemann).

geistreich ersonnene Apparat begnügt sich nicht mit der erwähnten Umschaltung, sondern regelt zugleich noch die auftretenden Spannungen. Die Wirkungsweise ist folgende:

(Abb. 280.) Der Generator *a b* möge still stehen, der Kontakt *h* ist geöffnet; die Versorgung der Lampen usw. geschieht durch die Batterie *p*. Nun beginne der Generator zu arbeiten; besitzt er die genügende Spannung, erregt er die Spule *i* derart, daß sich der Kontakt *h* schließt. Nunmehr versorgt der Generator sowohl

die Lampen wie den Akkumulator, den er wieder auflädt. Die Spule *k* sorgt dafür, daß der Kontakt *h* geschlossen bleibt. Wird die Spannung des Generators zu groß, so tritt der Spannungsregler *f* in Tätigkeit und öffnet den Kontakt *g*; dadurch wird in den Erregerkreis ein Widerstand *e* eingeschaltet, der das Feld und die Klemmspannung schwächt. Geht andererseits die letztere zu tief herunter, so öffnet sich der Kontakt *h* wieder und die Batterie greift ein.

Das Verfahren ist also denkbar einfach, die Ausführung sehr zuverlässig; die Versuche haben die Erwartungen voll erfüllt. Es wäre zu wünschen, daß dies Gerät,

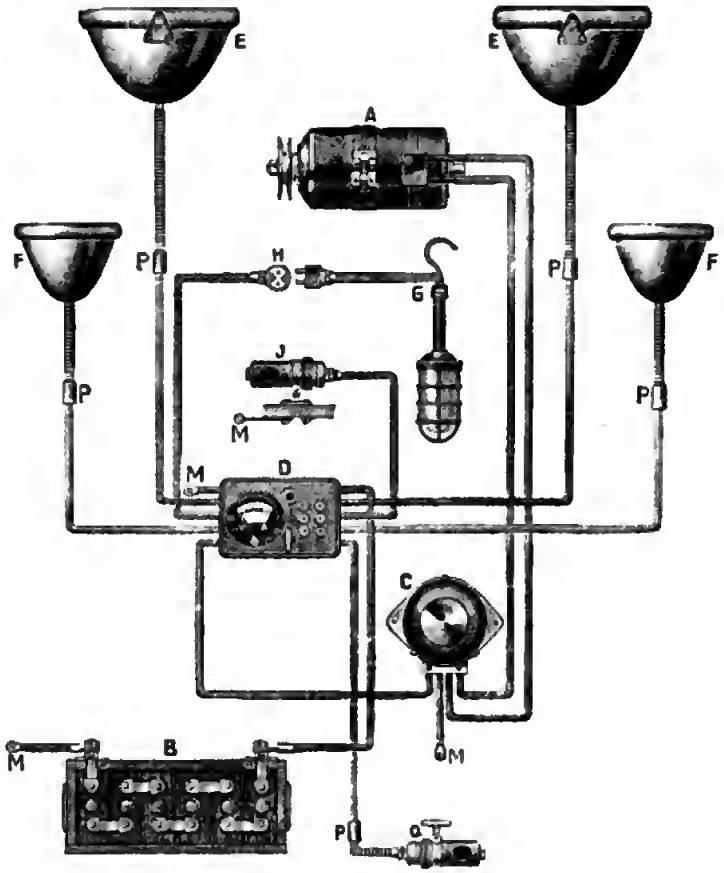


Abb. 281. Lichtanlage nach Eisemann.

das bisher vorwiegend bei Riesenflugzeugen Aufnahme gefunden hat, sich auch das normale Verkehrsflugzeug eroberte. Zweifellos ist damit eine Teilfrage der elektrischen Zentrale eindeutig gelöst.

Bezüglich einer anderen Frage sind wir jedoch noch nicht so weit. Es war bisher immer so dargestellt worden, als wenn das Vorhandensein nur eines Generators alle Bedürfnisse befriedigen könnte, soweit er nur arbeite. Wie unsere erste Zusammenstellung ergibt, sind aber die Bedürfnisse der einzelnen Kategorien sehr verschiedener Art. Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom stehen da verzeichnet; überdies verschiedene Spannungen. Was letztere betrifft, so kann es keine Schwierigkeiten bereiten, durch Vorschaltwiderstände oder Spannungsteilung

das Erforderliche zu erzielen. Aber auch die verschiedenen Stromarten sollten sich durch eine Maschine herstellen lassen; statt eines Kommutators sind deren mehrere vorzusehen. Ja es scheint sogar möglich zu sein, die verschiedenen Spannungen durch Bürstenstellungen zu modifizieren. Wenn bisher eine Verschweißung dieser heterogenen Elemente noch nicht erfolgt ist, ja wohl noch kaum versucht wurde, so ist das darauf zurückzuführen, daß jedes Element für sich schon genügend Probleme zu bewältigen erforderte, so daß für einen gemeinsamen Ausbau die Zeit noch nicht gekommen war.

Damit hätten wir in großen Zügen die Aufgaben niedergelegt, die es zuerst zu lösen gilt. Daß nebenher noch Teilprobleme lauern, sei nur kurz gestreift. Selbstverständlich wird keineswegs angenommen, daß nun jedes Flugzeug alle die verschiedenen Betätigungsmöglichkeiten für den elektrischen Strom auch wirklich übernimmt. Vermessungsflugzeuge werden wohl schwerlich bei Dunkelheit fliegen, Sportflugzeuge auf den Ballast des F. T.-Geräts verzichten, Schulflugzeuge sogar von allem absehen. Aber die Lösung des Gesamtproblems enthält auch gleichzeitig die seiner Teile.

Von der bildlichen Wiedergabe der heute gebräuchlichen Generatoren können wir hier absehen, da der hauptsächlich in Betracht kommende Vertreter dieser Art im Bande „Funkentelegraphie“ eingehend behandelt ist, während auf die Spezialgeneratoren (z. B. für Kreiselgeräte) in den entsprechenden Kapiteln hingewiesen wurde.

B. Flugzeugbeleuchtung.

Eine Beleuchtung im Flugzeuge kommt in erster Linie für den Nachtflug in Betracht; nebenher kann sie auch bei Reparaturen oder Kontrollen am stehenden Flugzeug von Vorteil sein, insbesondere wenn solche in geschlossenen Hallen vorgenommen werden. Im wesentlichen handelt es sich um folgende Aufgaben:

1. Beleuchtung der Instrumente, sowie des Innenraums;
2. Markierung des Flugzeugs während des Fluges und bei Stand auf dem Boden, namentlich zur Vermeidung von Zusammenstößen;
3. Beleuchtung des Landungsortes vom Flugzeug aus;
4. Signalgebung. (Diese wird in einem besonderen Kapitel behandelt.)

1. Instrumentenbeleuchtung.

a) Hand- und Stablampen.

Am zuverlässigsten und für den Nachtflug sowohl wie für Reparaturen unentbehrlich ist die gewöhnliche im Handel befindliche elektrische Handlampe. Unter den bekannten Formen haben sich diejenigen der Abb. 282 und 283 am besten bewährt. Die Batterie muß eine genügende Kapazität besitzen. Druckknöpfe sind zu vermeiden, weil sie sich mit Handschuhen schlecht bedienen lassen; außerdem soll die Helligkeit regulierbar sein. Schaltung und Widerstand wird am zweckmäßigsten durch eine einzige Kordelschraube bedient, wie Abb. 284 zeigt. Da solche Lampen bisweilen als Notscheinwerfer benutzt werden, ist es zu empfehlen, sie mit einem brauchbaren Reflektor und Linse zu versehen.

Digitized by Google

Abb. 282. Handlampe (Ruhstrat).

Abb. 283. Handlampe (Ruhstrat).

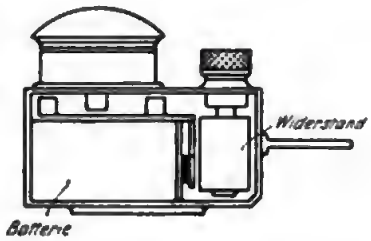


Abb. 284. Handlampe (Ruhstrat).

Abb. 285. Stablampe (Ruhstrat).

Für Reparaturen geeigneter sind die an die Flugzeugbatterie anzuschließenden Stablampen nach Abb. 285, die in beliebiger Stärke ausgeführt werden können. Zum Schutz der Birne ist ein Drahtgehäuse vorhanden. Ihre Schaltung wird am besten durch Drehen des Gehäuses, schlechter durch feststellbaren Druckknopf besorgt.

b) Soffittenlampen.

Als stationäre Beleuchtungskörper dienen Sofittenlampen, wie sie in den Abb. 286 bis 290 dargestellt sind. Sie enthalten Birnen mit gestrecktem Faden in einem Ge-

Abb. 286. Soffittenlampe (Ruhstrat).

häuse und sind durch eine auswechselbare Glasscheibe abgeschlossen. Ihre wichtigste Eigenschaft ist ihre Verstellbarkeit; da es darauf ankommt, mit möglichst wenigen Lampen das ganze Instrumentarium zu erhellen, ist es erforderlich, den Beleuch-

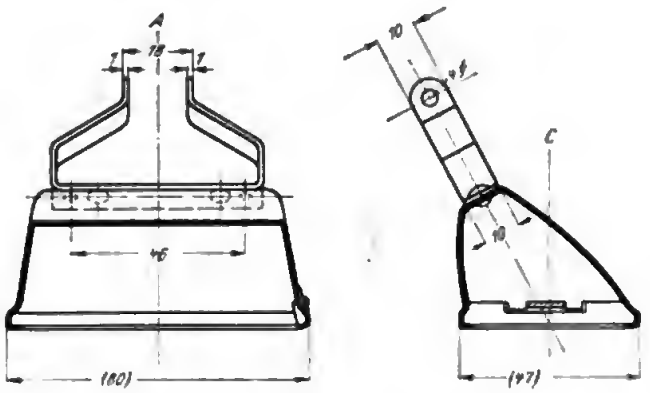


Abb. 287. Soffittenlampe (Ruhstrat).

tungskörpern jede beliebige Stellung erteilen zu können. Bei den ersten Formen war dies nicht der Fall; sie besaßen lediglich eine Bewegungsfreiheit. Die nächste Form (Abb. 286) besaß ein Kugelgelenk, das durch eine Flügelschraube festzustellen ist; hier zeigte sich jedoch, daß die Erschütterung beim Fluge die Fixierung illusorisch machte. Auch das Modell Abb. 288, bei dem das Kugelgelenk durch eine

axiale Schraube festgehalten wird, besaß diesen Mangel, wenn auch in geringerem Maße. Einen wesentlichen Fortschritt bedeutete es, als man zu der Form der Abb. 289 überging. Hier ist von einem Kugelgelenk abgesehen; die nötige Beweg-

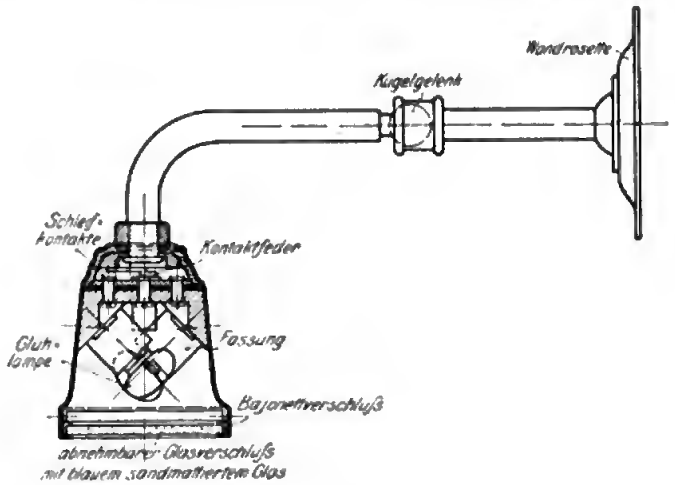


Abb. 288. Soffittenlampe (Dr. Schneider).

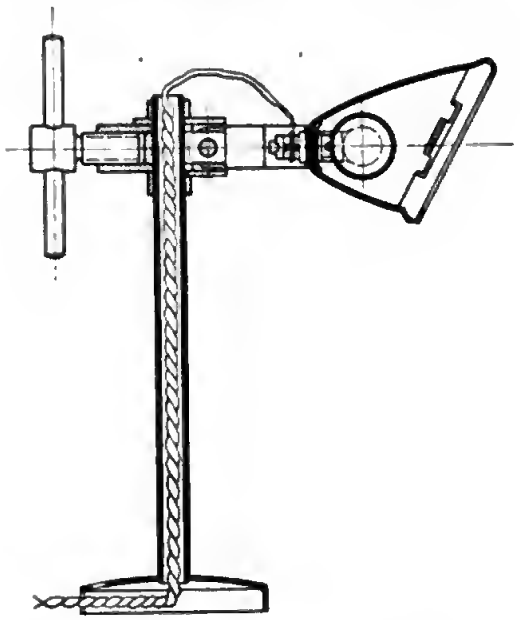


Abb. 289. Soffittenlampe (Ruhstrat).

lichkeit wird durch einen Schlitten erzielt, der auf einem Arme dreh- und verschiebbar angeordnet ist und sich durch eine Knebelschraube äußerst sicher fixieren läßt. Trotzdem reicht die Verstellbarkeit noch nicht für alle Fälle aus, da nunmehr die Neigung der Lampe selber unveränderlich ist. Wollte man alle Verstellmöglichkeiten erzielen, so bedürfte man mehrerer Schrauben, was wieder unerwünscht ist.

Die endgültige Form wird sich erst dann ergeben, wenn der Instrumenteneinbau nach einheitlichen Gesichtspunkten geregelt ist. Damit wird sich auch die ganze Frage der Verstellbarkeit erledigen, indem man mit der einfachsten Form (Abb. 290), die gleichzeitig die stabilste ist, vollständig auskommen dürfte.

Abb. 290.
Soffittenlampe (Eisemann).

Abb. 291.
Deckenbeleuchtung (Eisemann).

c) Deckenbeleuchtung.

Für das Innere von Kabinen ist eine Deckenbeleuchtung etwa nach Art von Abb. 291 angebracht; hier ist der Phantasie noch viel Spielraum gelassen.

Für die Farbe der Beleuchtung ergibt sich ganz allgemein: Soll lediglich eine Erhellung des Innern erreicht werden, so wählt man weiß; ist gleichzeitig die Bedingung zu erfüllen, daß diese Beleuchtung von außen möglichst wenig bemerkt wird, wie es bei kriegerischen Unternehmungen der Fall ist, so bevorzugt man blau; jedenfalls ist rot hierfür ganz ungeeignet und ausschließlich für Gefahrsignale zu reservieren. Auch grün sollte vermieden werden, weil es Verwechslungen mit den sogleich zu besprechenden Positionslichtern hervorrufen kann.

Die Sonderbeleuchtungen einiger Geräte sind in den entsprechenden Kapiteln behandelt.

2. Markierungslichter am Flugzeug.

a) Positionslampen.

Begegnen sich zwei Flugzeuge in der Dunkelheit, so müssen sie über ihren gegenseitigen Kurs unterrichtet sein, um Zusammenstöße zu vermeiden; die hierfür gültigen Vorschriften sind im wesentlichen aus dem Schiffsverkehr entnommen, jedoch ist hier die Sache erschwert, da noch die Höhenkomponente hinzukommt.

Die Rechts- und Linksmarkierung erfolgt durch Positionslichter (Abb. 292 u. 293), die man an den äußeren Streben nach Art von Abb. 294 montiert. Sie sind derartig abgeblendet, daß sie einzeln einen Winkel von etwa 130° bestreichen, wobei ihre Mittelachsen am 45° gegen die Flugrichtung nach rechts, bzw. links vorn gerichtet sind. Es wird dadurch erreicht, daß die Wahrnehmung zweier Lichter (rechts grün, links rot) zugleich den Schluß erlaubt, daß sich das fremde Flugzeug dem eigenen nähert. Von der Seite ist dagegen immer nur ein Licht wahrnehmbar. Gänzlich unabgeblendete Lampen verwirren das Urteil über die Flugrichtung.

Über die Ausführungsform dieser Positionslampen ist nicht viel zu bemerken; ihre Zylinderform erzeugt nur geringen Luftwiderstand; die Birne muß leicht auswechselbar sein. Lampen von 2 bis 4 Kerzenstärke sind völlig ausreichend; man kann sogar noch darunter gehen.

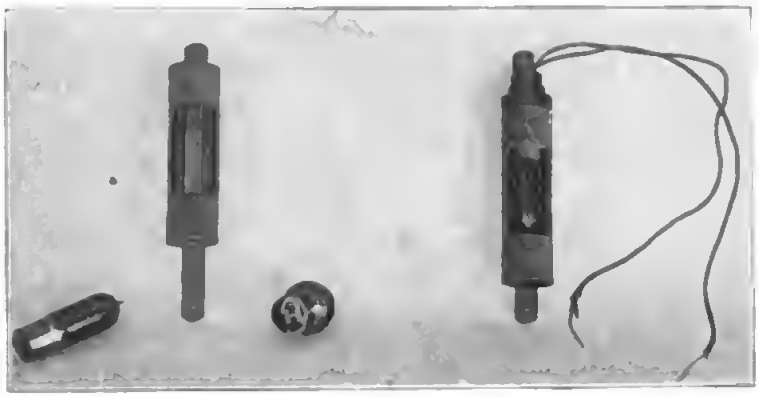


Abb. 292. Positionslicht.

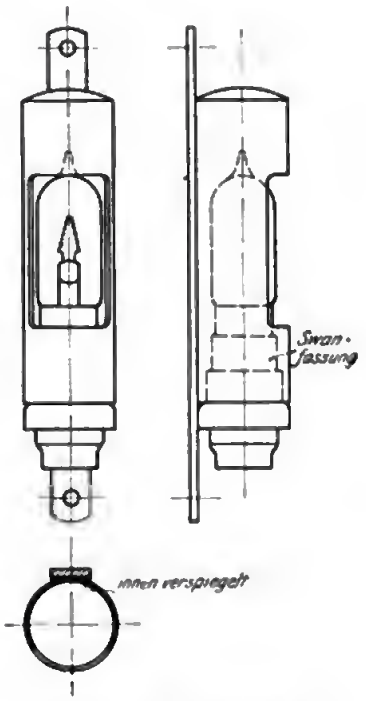


Abb. 293. Positionslicht.

Abb. 294. Montage der Positionslichter.

b) Hecklampen.

Um nun auch nach den Seiten, hinten und oben Markierungen zu gewinnen, hat man Versuche mit Hecklampen (Abb. 295) angestellt; jedoch lauten die Urteile über ihren Vorteil verschieden. Einmal erfordern alle diese Lichter Leitungen, die

ihrer notwendigen Isolierung wegen immerhin ein nicht zu vernachlässigendes Gewicht bedeuten und zu Kurzschlüssen Veranlassung geben können; dann aber wird ihr Zweck nur unvollkommen erfüllt. Zur Unterscheidung von den seitlichen Positionslichtern würde man sie am besten weiß verwenden; unter kriegerischen Verhältnissen verrät sich jedoch ein derart ausgestattetes Flugzeug sehr weit. Für den Frieden genügt aber bereits eine weiße Innenbeleuchtung, so daß eine weitere Komplizierung der Beleuchtungsanlage durch nichts gerechtfertigt erscheint. Auch bei Stand auf dem Boden wird mit Hilfe der vorhandenen Lampen ein Aufeinanderlanden immer vermieden werden können.

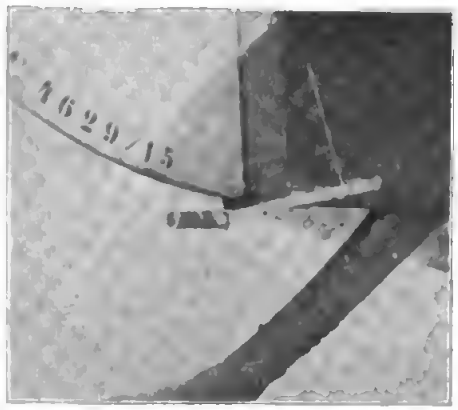


Abb. 295. Hecklampe.

3. Landebeleuchtung am Flugzeug.

a) Allgemeine Gesichtspunkte.

Die Aufgabe, seinen Landeort vom Flugzeug aus selber zu erleuchten, stieß auf manche Schwierigkeiten; namentlich fehlte es an ausreichenden Stromquellen. Da es sich nämlich darum handelt, nicht nur einen schmalen Lichtkegel ausreichender Intensität zu erzeugen, sondern eine größere Fläche möglichst gleichmäßig zu erhellen, werden verhältnismäßig große Lichtstärken benötigt. Die Verwendung vorhandener Generatoren war aus verschiedenen Gründen nicht möglich, wie im Kapitel „Elektrische Zentrale" auseinandergesetzt wurde. Eine Sammlerbatterie von mehr als 12 Volt verbot sich wegen ihres Gewichts. Man entschloß sich zu einem Verfahren, das zwar vom sachlichen Standpunkt aus zu verwerfen ist, für die zu lösende Aufgabe aber sich als geeignet erwies. Von der Überlegung ausgehend, daß die Gebrauchszeit (nur während der Landung) immerhin kurz ist (wenige Minuten), und daß ferner der Verschleiß auch vieler Akkumulatoren im Vergleich zum Verluste eines ganzen Flugzeugs zu ertragen war, überlastete man den Sammler ganz beträchtlich. Man verwandte also Lampen von 8 bis 10 Volt und geringem Widerstand, die man mit 12 Volt speiste. Der Strombedarf, der normalerweise 4 Ampere nicht überschreiten sollte, stieg dadurch auf ein Mehrfaches (es kamen meistens 4 Lampen parallel zur Verwendung). Der Sammler leidet zwar stark durch diese Entnahme, hält jedoch trotzdem eine Anzahl von Flügen aus. Fast scheint es so, als wenn sich auch zukünftig kein anderer Ausweg als dieser bietet. Die Lampen leiden ebenfalls unter der erhöhten Spannung, doch ist zu bedenken, daß letztere infolge des Stromverbrauchs nicht voll auftritt. Jedenfalls ist aber streng zu vermeiden, etwa nur eine der Lampen allein brennen zu lassen, da sie dann sicher in kurzer Zeit durchbrennt. Sind aber erst einzelne Lampen erloschen, so folgen die übrigen schnell nach, weil sie alsdann die ganze Spannung bekommen. Diese Erscheinung wurde indessen nur selten beobachtet. Zur Abhilfe könnte man daran

denken, einen automatischen Widerstand einzuschalten; und zwar scheint hier das bei den Nernstlampen erprobte Verfahren eines in Wasserstoff eingeschlossenen Eisendrahtes am Platze zu sein.[1])

b) Ortsfeste Lampen.

Die Anbringung dieser Lampen kann unter dem Boden geschehen; da sie jedoch nach vorn leuchten sollen, können sie nicht direkt in ihn eingelassen werden, sondern müssen etwas aus ihm herausragen, was den Luftwiderstand ungünstig beeinflußt. Verlegt man sie in den Boden, so werden große Ausschnitte in ihm nötig; außerdem steht meistens kein Platz zur Verfügung. Man entschied sich deshalb, sie vor die unteren Tragflächen zu setzen und derart zu verschalen, daß die Hülle allmählich in die Tragfläche übergeht. Abb. 296 zeigt einen Querschnitt durch eine Tragfläche

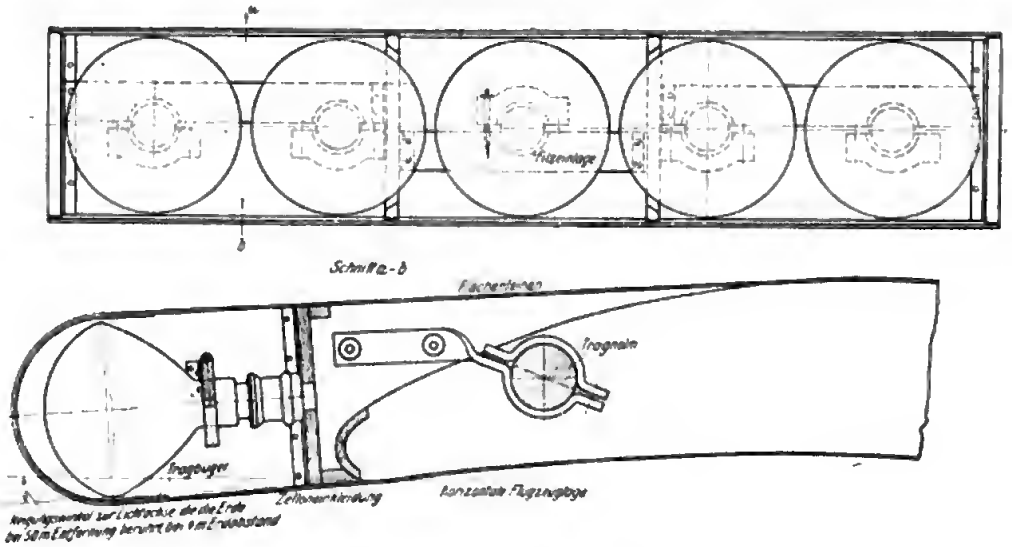


Abb. 296. Rampenbeleuchtung nach Dr. Neuber.

nebst angesetzter Rampenbeleuchtung. Letztere ruht auf dem Stirnholm der Fläche und wird durch zwei auf dem Tragarm montierte Schenkel gehalten. Die Verkleidung der Lampen ist aus Cellon, die Verbindung dieser mit den Tragflächen aus Flugzeugleinen. Die Form schmiegt sich dem Flächenprofil derart an, daß die aerodynamischen Eigenschaften des letzteren kaum verschlechtert werden. Auch wird auf diese Weise ein direkter Eingriff vermieden; die ganze Vorrichtung kann leicht entfernt werden. Als Beleuchtungskörper dienten Parabollampen (der Firma Pintsch), die im Innern mit einem Spiegelbelag versehen sind und die oben besprochenen Eigenschaften besitzen. Da sie starken Schwingungen ausgesetzt sind, werden sie an ihrem Fuße durch mit Filzeinlagen versehene Leisten unterstützt. Solcher Lampen verteilte man bei normalen Flugzeugen je zwei an die beiden Tragflächen, bei Großflugzeugen bisweilen auch vier. Zur Not genügt es, lediglich

[1]) Theorie dieser Erscheinung siehe: H. Busch, Phys. Zeitschr. 21, 632 (1920).

die linke Tragfläche mit zwei bis vier Lampen auszurüsten; da nämlich bei der Landung die Beobachtung des Erdbodens meist nach links erfolgt, entzieht sich die Sicht der anderen Seite dem Führer sowieso.

Es ist von Wichtigkeit, die Lampen so weit nach außen zu verlegen, daß sie die Rückseite des rotierenden Propellers nicht erleuchten. Hierdurch würde nämlich eine sehr störende Blendung auftreten. In der Vermeidung dieser liegt gerade der wesentliche Vorteil der obigen Anordnung gegenüber einem zentral angeordneten Scheinwerfer. Ein gewisser Nachteil besteht darin, daß die exponierte Anbringung verhältnismäßig leicht zu Beschädigungen der Lampen führt. Man hat deshalb versucht, die Beleuchtung an die oberen Tragflächen zu verlegen. Sie ist dort zweifellos geschützter, auch hat sie den Vorteil, höher über dem Boden zu stehen (worauf wir im nächsten Kapitel zurückkommen); dagegen erweist es sich als recht störend, daß alsdann der Führer die Beleuchtung direkt wahrnimmt, was leicht zur Blendung führt. Man bevorzugte deshalb allgemein die erstere Methode.

c) Bewegliche Lampen.

Bei Großflugzeugen mit zwei Motoren und überall da, wo vorgebaute Kanzeln vorhanden sind, ist natürlich auch die Verwendung eines Scheinwerfers zu Landezwecken möglich. Im übrigen gilt für einen solchen bezüglich der Stromquelle dasselbe; auch in diesen Flugzeugen ist man auf den Akkumulator angewiesen; höchstens könnte man die Zellenzahl erhöhen. Der Streuwinkel muß ziemlich groß sein; verwendet man also etwa einen Signalscheinwerfer, so muß dieser eine veränderliche Fokussierung besitzen; Absuchen des Landeplatzes durch Hinundherschwenken erzeugt bei der Landung eine außerordentliche Unsicherheit. Ein Scheinwerfer hat dagegen den Vorteil, daß mit ihm schon aus größerer Höhe eine Ableuchtung vorgenommen werden kann, was bei der Rampenbeleuchtung natürlich nicht möglich ist.

d) Behelfsmäßige Landebeleuchtung.

Eine solche Ableuchtung des Bodens, die sowohl für militärische Aufgaben wie zum Zwecke der Notlandung von Bedeutung ist, kann man auch behelfsmäßig mit Hilfe von Leuchtkugeln vornehmen. Man verwendete zu diesem Zweck bisher vorzugsweise langsam fallende Leuchtkugeln, z. B. mit Fallschirmen versehene. Vom Verfasser angestellte Überlegungen und daraufhin unternommene Versuche ergaben jedoch, daß man vorteilhaft gerade schnellfallende Kugeln zu verwenden hat, wenn man ein größeres Beobachtungsfeld haben will. Es ist nämlich folgendes zu berücksichtigen: eine in unmittelbarer Nähe des Flugzeugs befindliche Leuchtkugel blendet entweder direkt oder durch die Streuung am Dunst; außerdem erhellt sie den Boden bei größerem Abstand von diesem nur ungenügend; ferner kommt es nicht so sehr auf die Dauer der Beleuchtung, sondern lediglich

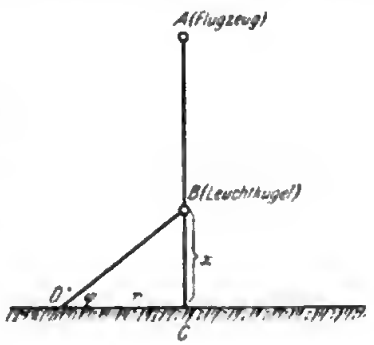


Abb. 297.
Bodenerhellung durch Leuchtkugel.

auf eine möglichst große Flächenhelligkeit an. Die Leuchtkugel muß sich also bei der Beobachtung weit vom Flugzeug und nahe am Boden befinden. Wir wollen uns die Verhältnisse an einer Zeichnung klarmachen. Es bedeute (Fig. 297) A das Flugzeug, B die Leuchtkugel, C den Erdboden und D einen bestimmten Punkt desselben. B befinde sich in der Höhe x über dem Boden, und D sei um r vom Fußpunkt entfernt. Die Kugel B falle nun senkrecht nach unten; alsdann wird die Flächenhelligkeit J in D ein Maximum durchlaufen. Wir können nämlich ansetzen:

$$J = J_0 \frac{\sin \varphi}{r^2 + x^2} = J_0 \frac{x}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$\frac{dJ}{dx} = J_0 \frac{r^2 - 2x^2}{(r^2 + x^2)^{5/2}} = 0$$

Das Maximum wird also in der Höhe $x_m = \frac{r}{\sqrt{2}}$ erzielt. Daraus geht einmal hervor, daß das Maximum für nicht zu große r erst bei ziemlich geringen Höhen erreicht wird. Um also z. B. einen Kreis von 100 m Radius abzusuchen, wird man praktisch erst dann beginnen, wenn die Kugel bis auf 70 m Höhe gefallen ist. Dann aber folgt, daß das Helligkeitsmaximum auf einem sich immer verengernden Kreise liegt, der schließlich im Fußpunkte zusammenschrumpft. Man holt also auf diese Weise die größtmögliche Flächenhelligkeit heraus.

Zur Durchführung benötigt man schnellfallende Leuchtkugeln, d. h. solche mit starkem Pulversatz. Die Versuche ergaben, daß man mit Hilfe dieses Verfahrens sich in kürzester Zeit über die Beschaffenheit des unter dem Flugzeuge liegenden Geländes orientieren kann.

Neuere Literatur über Flugzeugscheinwerfer: G. Gehlhoff u. H. Latzko, Der Luftweg **4**, 1—4, 4—8 (1920) Nr. 46/47 u. 48/49.

4. Zubehör zur Flugzeugbeleuchtung.

Nach den Beleuchtungskörpern verdienen auch die verschiedenen Nebenorgane eine wenn auch kurze Betrachtung; in erster Linie Schalter, Leitungen und Sicherungen.

a) Schalter.

Die Form der Schalter muß sich dem verminderten Tastvermögen anpassen; sie sind also so groß zu wählen, daß sie auch mit Pelzhandschuhen bedient werden können. Dazu gehört, daß sie einen großen Hubweg haben; als typisches Beispiel hierfür möge dienen, daß man für das Flugzeug berechnete Morsetaster mit viel größerem Ausschlag versieht, als solche für Bodenstationen. Der Grund ist wohl darin zu erblicken, daß das durch den Flugmotor ermüdete Ohr keine Kontrolle über die Betätigung des Schalters ausüben kann; so ist z. B. das bei der Bedienung eines gewöhnlichen Drehschalters hörbar erfolgende Springen der Sperrfeder ein Anhalt dafür, daß die Schaltung erfolgt ist; im Flugzeug fällt das fort; das Ergebnis ist eine gewisse Unsicherheit und damit eine ungewollt rauhe Bedienung der Schalter. Es ist eine vom Verfasser häufig gemachte Beobachtung, daß

das Telegraphieren vom Flugzeug aus leicht zu einer direkten Kraftleistung wird; und ähnliches gilt bei der Bedienung aller der Apparate, bei denen ein Effekt nicht unmittelbar wahrgenommen wird. Es gilt also, diesen Mangel durch einen großen Hubweg zu ersetzen.

Gewöhnliche Knippsschalter sind deshalb ungeeignet, auch wenn sie bisweilen

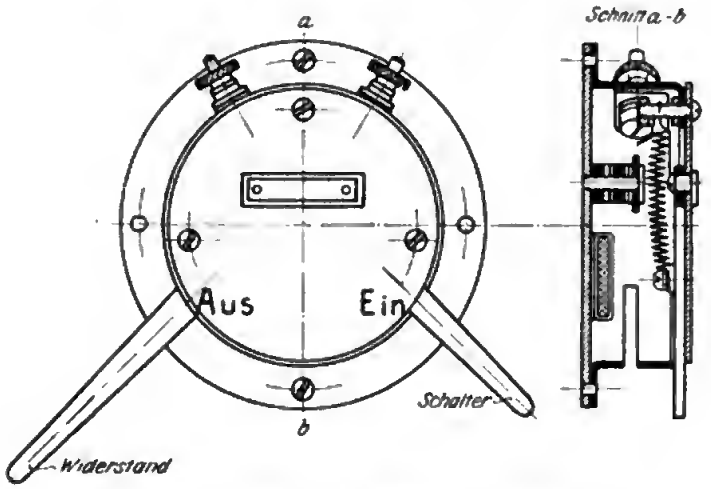


Abb. 298. Beleuchtungsschalter (Ruhstrat).

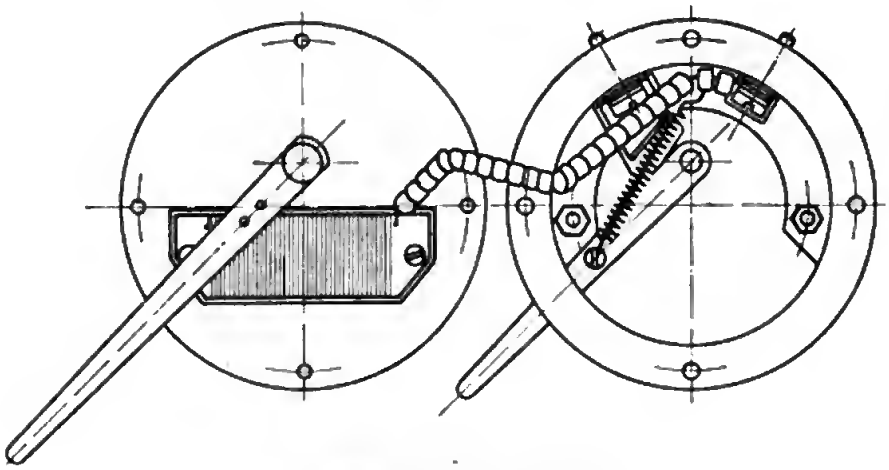


Abb. 299. Schalter (Ruhstrat).

Verwendung fanden. Viel brauchbarer sind Formen der Art von Abb. 298; das Umlegen eines durch Springfeder gespannten Hebels erfüllt die oben gestellte Bedingung vollkommen; auch verträgt ein solcher Mechanismus heftige Bedienung. Man vereinigt ihn für manche Zwecke mit einem in gleicher Weise zu bedienenden, darunter befindlichen Widerstand (Abb. 299) und wählt dann die Hebel von verschiedener Länge. Solche Schalter sind für Einzelzwecke recht brauchbar, lassen sich jedoch schlecht zu Serien vereinigen. Indem man das Prinzip obigen Schalters

beibehält, ordnet man für diesen Zweck den Hebel senkrecht zur Grundfläche an und reiht mehrere solcher nebeneinander. Sie müssen so weit auseinander liegen, daß sie auch mit Handschuhen bequem einzeln bedient werden können.

Nun ergibt sich bei kriegerischen Handlungen sowohl wie bei eintretenden Störungen (Kurzschlüssen) die Notwendigkeit, sämtliche Stromverbrauchsstellen auf einmal abzustellen. Man könnte an einen Generalschalter denken; diese Lösung ist jedoch unzweckmäßig. Gesetzt, man habe mittels desselben den Strom unterbrochen und beabsichtigt, nach behobener Störung ihn wieder einzuschalten, so werden alle die Geräte in Tätigkeit gesetzt, die auf dem Sonderschalter von früher her eingeschaltet waren; das ist aber namentlich für militärische Zwecke höchst unerwünscht. Es ergibt sich also die Notwendigkeit, sämtliche Sonderschalter mit

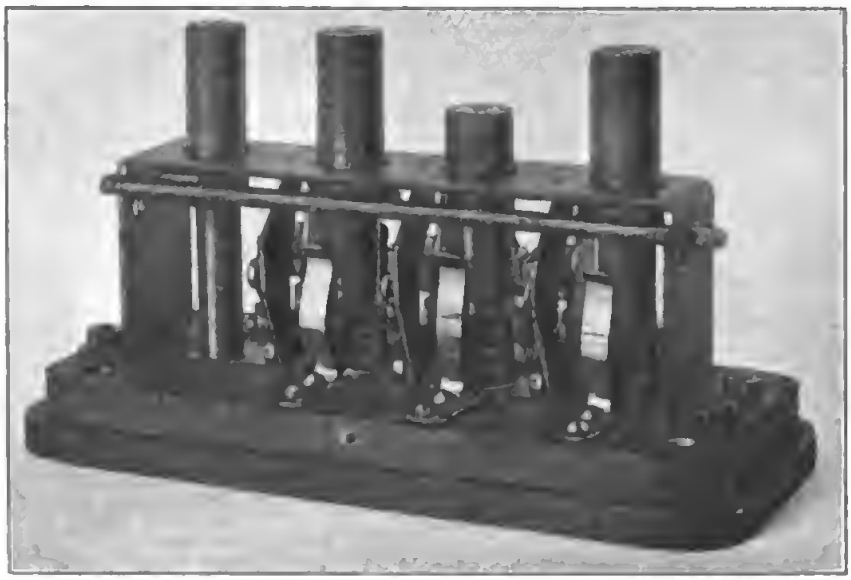


Abb. 300. Druckknopfschalter mit gemeinsamer Auslösung nach E. Franz.

einem Griff auszuschalten. Dies läßt sich leicht durch einen an der Seite des Sonderschalters angebrachten Hebel erreichen, der entweder die Einzelhebel durch eine Schiene gemeinsam zurückführt oder ihre Arretierung auslöst. Der erstere Weg wurde als der bessere eingeschlagen, weil die für das zweite Verfahren notwendigen Arretierungen sich als unzuverlässig erwiesen. Eine gleichzeitige Ausschaltung von Knippsschaltern ist nicht oder nur schwer erzielbar.

Was die oben beschriebenen Scrienhebelschalter noch besonders auszeichnet, ist der Umstand, daß sie die augenblickliche Schaltung sofort erkennen lassen; Druckknopfschalter lassen das nicht zu; trotzdem können auch solche brauchbar sein. Bedingung für sie ist, daß sie Dauerstellungen ermöglichen. Die bekannten Schalter dieser Art sind jedoch nicht zuverlässig genug; dagegen hat sich eine neue Konstruktion (E. Franz, Charlottenburg, siehe Abb. 300) gut bewährt; sie hat den gebräuchlichen gegenüber den Vorteil, auch bei kräftigem Druck die Einschaltstellung sicher innezuhalten und erst bei einem zweiten Druck wieder freizugeben.

Digitized by Google

Da sie außerdem einen genügend großen Druckweg besitzt, ist sie für das Flugzeug gut geeignet.

Für Großflugzeuge bedient man sich der gebräuchlichen Schalttafeln, wie Abb. 301, nimmt aber damit ein unnötig großes Gewicht in Kauf.

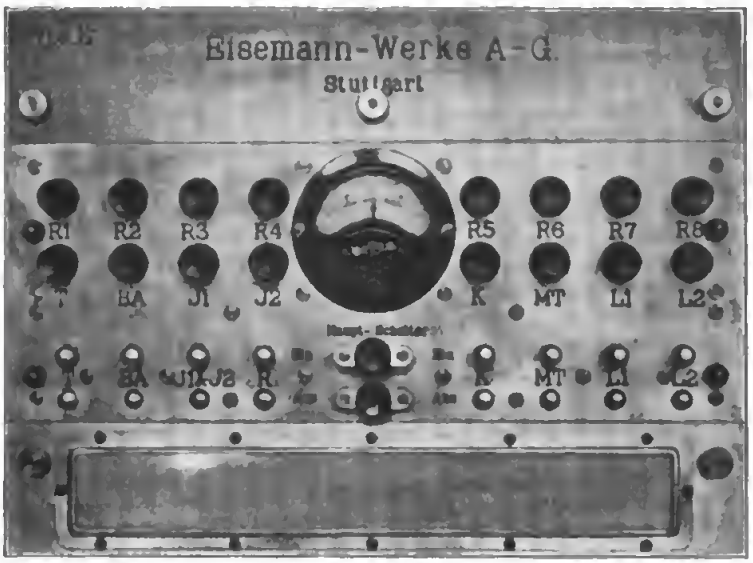


Abb. 301. Schalttafel für Großflugzeuge (Riesen-) (Eisemann).

b) Leitungen.

Für das normale Flugzeug genügen meistens gut isolierte Drähte, die jedoch innerhalb des Rumpfes in Rohren verlegt sein müssen; vor allen Dingen ist aber ein gegenseitiges Scheuern zu verhindern, da die fortgesetzte Erschütterung in kurzer Zeit zur Beschädigung der Isolation führt. In Riesenflugzeugen ging man so weit, daß man jeden Draht in einem besonderen Bougierohr verlegte, ein Verfahren, das kostspielig ist und beträchtliches Gewicht bedingt. Die Benutzung geeigneter Kabel dürfte dem vorzuziehen sein, nur ist sie durch die starke Verzweigung der Leitungen etwas erschwert. Unterbrechungen durch Stöpsel sind für die Zwecke der Funkentelegraphie angebracht, für die Kleinbeleuchtung aber überflüssig. Lediglich an den Stellen, die durch die Zerlegbarkeit des Flugzeugs (abnehmbare Tragflächen) bezeichnet sind, ist der Stöpselkontakt am Platze.

c) Sicherungen.

An Sicherungen ist bisher zweifellos zu sehr gespart worden. Bereits oben wurde die Forderung ausgesprochen, daß jede Batterie ihre eigene Sicherung erhält. Gleiches gilt natürlich für jeden Generator. Kurzschlüsse gehören im Flugzeug nicht zu den Seltenheiten. Namentlich ist zu berücksichtigen, daß sie nach verunglückten Landungen selbst nachträglich noch eintreten können. Die erwähnten Schutzmaßregeln, die jedoch bisher nicht allgemein durchgeführt waren,

dürften diese Gefahr weitgehend verhindern. Ist eine Rampenbeleuchtung mit hohem Strombedarf vorhanden, so wird man auch die einzelnen Zweige sichern müssen.

Von den Sicherungselementen wird verlangt, daß sie beim Durchbrennen keine Funkenbildung zeigen, da die Gefahr einer Explosion namentlich auf Stand naheliegt. In Glasröhren eingekapselte Schmelzdrähte haben sich als brauchbar erwiesen. Im übrigen ist auch bei den Schaltern die Funkenbildung zu beachten.

C. Flugplatzbeleuchtung.

1. Allgemeine Gesichtspunkte.

Der Flug in der Dunkelheit hat für friedliche Verhältnisse kaum die Bedeutung, die er während des Krieges gewonnen hat. Soll aber das Flugzeug in ernsthafte Konkurrenz mit anderen Verkehrsmitteln treten, so ist die erste Bedingung, daß es sich unabhängig von der Tageszeit macht. Somit rechtfertigt sich eine grundsätzliche Betrachtung derjenigen Einrichtungen, die ein Fliegen bei Nacht zu unterstützen vermögen. In erster Linie steht die Aufgabe, eine brauchbare Flugplatzbeleuchtung zu schaffen.

Die Verhältnisse des Krieges haben gerade auf diesem Gebiete ein beträchtliches Material gezeitigt; die gewonnenen Erfahrungen lassen sich aber nicht ohne weiteres auf den Frieden übertragen, da Aufgaben und Mittel ganz verschiedene sind. Einmal war die Kriegsfliegerei wesentlich auf behelfsmäßige Einrichtungen angewiesen, die nicht als Norm dienen können; andererseits stand ihr wieder eine umfangreiche Unterstützung in Form zahlreicher Mannschaft oder in Entlehnung technischer Einrichtungen anderer Truppenteile zur Verfügung, auf die im Frieden nicht zu rechnen ist. Endlich stellte die notwendige Beweglichkeit der Fliegerabteilungen Aufgaben, die heute wenig Interesse bieten. Trotzdem müssen auch diese Gesichtspunkte gestreift werden.

a) Gliederung der Flugplatzbeleuchtung.

Es handelt sich um die Beleuchtung der Landebahn, die Markierung des Landekreuzes und der Platzgrenzen. Dazu gesellt sich noch die Kenntlichmachung der Lage des Flugplatzes auf weite Entfernung hin. Diese einzelnen Funktionen stellen nun ganz verschiedene Bedingungen; und es scheint ausgeschlossen, sie alle gleichzeitig zu lösen.

Beginnen wir mit dem letzten Punkte, der Kenntlichmachung des Platzes. In der Schiffahrt übernimmt das Leuchtfeuer (Leuchtturm) diese Aufgabe; während dieses aber nur eine Ebene zu bestreichen hat, handelt es sich in der Fliegerei um Bedeckung des Halbraumes. Auf die Lösung kommen wir unten zurück. Wäre nun ein solches Leuchtgerät unmittelbar am Flugplatz aufgestellt, so würde es wegen der Blendung beim Landen äußerst störend wirken. Eine Vereinigung mit dem Landebahnleuchtgerät scheidet deshalb aus. Von letzterem wird im Gegenteil verlangt, daß es vom Flugzeug aus selber gar nicht bemerkt wird, damit die erleuchtete Landebahn um so ungestörter erkannt werden kann. Demgegen-

über wird bei der Markierung des Landekreuzes wieder die Sichtbarkeit der Lichtquelle selber verlangt, mit der Nebenbedingung, daß eine Blendung unter allen Umständen vermieden werden muß. Weniger ängstlich ist das bei den Markierungslichtern des Platzes, denen sich das Flugzeug, wenigstens im Fluge, nicht unmittelbar nähert. Damit sind die Aufgaben im großen gestellt.

b) Art und Betriebssicherheit verschiedener Lichtquellen.

Von vornherein wird man elektrische Beleuchtungskörper zu bevorzugen geneigt sein; man muß jedoch berücksichtigen, daß damit meistens Schwierigkeiten bei der Verlegung verknüpft sind. Es taucht deshalb hin und wieder die Frage auf, ob nicht auch andere Beleuchtungsarten brauchbar sind. Man hat z. B. Versuche mit Magnesiumfackeln gemacht (Firma Böhm, Berlin); so sehr sich solche Geräte für gewisse Zwecke der Kleinbeleuchtung und der Signalgebung bewährt haben mögen, für den regulären Betrieb sind sie unbrauchbar. Ihr Entzünden in freier Luft ist von Wind und Regen abhängig, so daß sie nicht zur bestimmten Sekunde mit Sicherheit in Brand gesetzt werden können. Auch verlöschen sie leicht, was hier zu schweren Folgen führen kann. Wesentlich brauchbarer sind Azetylenscheinwerfer; ihre Helligkeit ist für die meisten Zwecke völlig ausreichend, ihr Brand und ihr Entzünden genügend zuverlässig; dem elektrischen Scheinwerfer gegenüber haben sie den Vorzug des kleineren Gewichts, wenigstens soweit die Stromquelle einbezogen ist. Wenn sie sich trotzdem nur kurze Zeit neben letzteren zu halten vermochten, so liegt das einmal in der schwierigeren Beschaffung der Gasfüllungen, andererseits in der Beschränktheit ihrer Anwendung. Besonders sind sie in der üblichen Form nicht geeignet, vertikal nach oben zu leuchten; auch verrußen sie bei Schrägstellung. Für das Feld aber kam als ausschlaggebend in Betracht, daß sie für eine intermittierende Benutzung nicht brauchbar sind. Dieser Gesichtspunkt dürfte für friedliche Verhältnisse fortfallen, so daß die Wiedereinführung solcher Geräte im Bereich der Möglichkeit liegt. Kalklicht ist heute nicht mehr zeitgemäß; auch unterliegt es leichter Störungen als Azetylen.

Elektrisches Bogenlicht ist zwar für Leuchttürme brauchbar, kommt aber für Landescheinwerfer nur ausnahmsweise in Betracht, weil es vor gelegentlichem plötzlichen Versagen nicht sicher ist. Außerdem ist eine Differentialbogenlampe immer wesentlich schwerer, als eine Effektglühlampe. Immerhin hat sich im Felde auch das Bogenlicht als verwendbar erwiesen.

c) Verteilung und optische Ausnutzung der Lichtquellen.

Wenige Fragen der Fliegerei haben so mannigfache und zum Teil widersprechende Antworten gefunden, wie diejenige nach der Art der Verteilung der Lichtquellen. In erster Linie mußte man sich nach dem Vorhandenen richten, so daß manche Lösungen als durchaus provisorisch zu bewerten sind.

Ein dicht über dem Boden befindlicher Scheinwerfer läßt die immer vorhandenen Unebenheiten des Platzes in übertriebenem Maße erscheinen. Nichts ist für den Führer unangenehmer, als solch ein scheckig beleuchteter Boden. Daraus folgt, daß eine gewisse Mindesthöhe innegehalten werden muß. Für sehr ebene Plätze ge-

nügen zur Not 1,5—2 m Höhe, für schlechtere sollten 3 m nicht unterschritten werden. Ein 4 m hoher Scheinwerfer hat erfahrungsgemäß den günstigsten Effekt bezüglich der Lichtverteilung.

Die Aufstellung muß so erfolgen, daß der Führer den Lichtkegel selber nicht bemerkt, also in Richtung des Landens. Ferner muß die Lichtquelle vom Landekreuz so weit seitlich entfernt sein, daß sie das landende Flugzeug, besonders solange es noch ausschwebt, nicht steil von hinten beleuchtet. In diesem Falle erhält nämlich die kreisende Luftschraube Reflexe, die die Aussicht nach vorn völlig verdecken können. Als seitlicher Abstand ergab sich aus vielfacher Erfahrung eine Entfernung von etwa 40 m. Bei einer solchen Aufstellung wird nun aber ein Lichtstreifen auf dem Boden entstehen, der mit der Landebahn nicht parallel läuft, sondern sie kreuzt. Der Landende ist deshalb leicht geneigt, diesem Streifen statt der eigentlichen Bahn zu folgen. Man versuchte das dadurch zu umgehen, daß man einen zweiten Scheinwerfer symmetrisch dem ersten auf der anderen Seite des Landekreuzes aufstellte (siehe Abb. 302 a). Der Effekt ist nicht sehr günstig,

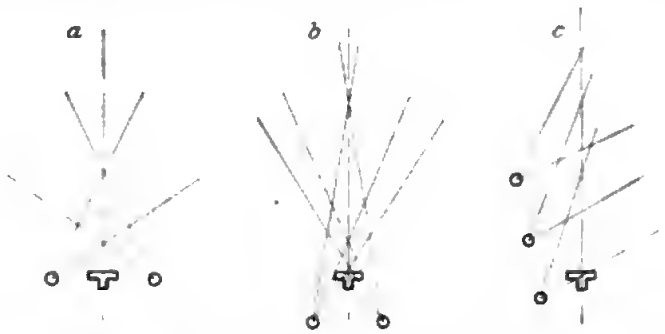


Abb. 302. Verteilung der Lichtquellen für Landbahnbeleuchtung.

da einmal der beleuchtete Teil der Landebahn kaum ausgedehnter wird, dann aber das Landen zwischen zwei Hindernissen bei Dunkelheit nicht zu den Annehmlichkeiten gehört. Man veränderte die Stellung alsdann derart, daß man beide Scheinwerfer weiter nach hinten verlegte, dafür aber näher zusammenrückte. Die Lichtkegel (Abb. 302 b) überschneiden sich dann in gewünschter Weise und beleuchten die ganze Bahn; es entsteht aber nunmehr der vorher gerügte Fehler, daß das Licht steil von hinten auf das Flugzeug trifft. Außerdem ist ein zu früh landendes Flugzeug der Gefahr des Zusammenstoßes ausgesetzt. Immerhin ist auf großen Plätzen dieses Verfahren leidlich brauchbar und tatsächlich vielfach angewendet worden. Ein anderer Ausweg besteht darin, daß man die Lichtgeräte auf einer Seite des Landestreifens gestaffelt aufstellt, wie es Abb. 302 c zeigt. Auch diese Art, die die Blendung von hinten vermeidet und doch den größten Teil der Bahn bestreicht, ist häufig mit gutem Erfolg benutzt worden. Da es alsdann nicht so sehr auf die Tiefenwirkung des Scheinwerfers ankommt, als vielmehr auf eine geeignete Streuung, wird man bei dieser Anordnung Scheinwerfer mit stark divergierendem Lichtkegel bevorzugen. Tatsächlich sind die mit solchen Einrichtungen gemachten Erfahrungen die denkbar günstigsten.

Will man mit einer einzigen Lichtquelle auskommen, so kann das nur dadurch erreicht werden, daß man sie wesentlich höher montiert, mit großer Streuung versieht und äußerst lichtstark wählt. Man benötigt alsdann entweder ein festes Gerüst oder bewegliche Füße von genügender Höhe. Das Vorhandensein eines solchen Hindernisses bildet für manchen Führer ein Moment der Beunruhigung. Der erzielte Effekt ist dagegen bei richtiger Anordnung recht günstig.[1])

d) Transportfähigkeit der Lichtquellen.

Handelt es sich um stationäre Flugplatzanlagen, so kann man ein festes Leitungsnetz vorsehen, das ohne Benutzung allzu langer Schnüre jede benötigte Verteilung der Lichtquellen ermöglicht. Eine zeitweilige Verlegung der Landebahn wird nun in Anbetracht der wechselnden Windverhältnisse nicht zu umgehen sein. Sind genügend Anschlüsse vorhanden, so steht dem nichts im Wege. Fehlen sie dagegen, so wird es nötig, bewegliche Kraftstationen zu verwenden, wenn man lange Kabel vermeiden will. Für nicht ausgebaute Plätze, die im Felde eine wichtige Rolle spielten, besteht hierin der einzige Ausweg. Am besten haben sich in Lastkraftwagen eingebaute Aggregate bewährt. Die Transportfähigkeit gewöhnlicher Scheinwerfer wird immer ausreichend sein, soweit genügend Bedienungsmannschaften zugegen sind. Fehlt es an letzteren, so wird man die Anzahl der Lichtquellen möglichst verkleinern; man kommt alsdann zu dem zuletzt beschriebenen Verfahren eines einzigen Effektscheinwerfers. Um ihn auch ohne Mannschaftsaufwand genügend beweglich zu gestalten, ist es empfehlenswert, ihn ebenfalls auf einem Fahrzeug zu montieren. Mit Masten versehene Kraftwagen haben sich für diesen Zweck leidlich bewährt; nur muß die Richtfähigkeit des Strahlenkegels gewährleistet sein.

Die verschiedenartigen Markierungslichter sind meistens so weit von der Stromzentrale entfernt, daß sie nur im Falle einer stationären Anlage von dieser Strom beziehen können. Es müssen dann auch für diese Zwecke Anschlußdosen vorgesehen sein. Häufig aber wird man sich darauf beschränken müssen, sie mit eigenen Stromquellen auszurüsten. Da sie eine Stärke von etwa 10—20 Kerzen benötigen, können sie vorübergehend mit Zwölf-Voltsammlern gespeist werden. Eine Dauerbeleuchtung verbietet sich aber alsdann. Man kann sich damit behelfen, daß man sie lichtschwächer gestaltet, dafür aber mit Reflektoren versieht. Natürlich darf der Streukegel nicht zu eng sein und muß in Richtung auf das Landekreuz nach schräg oben weisen. Bei Einrichtungen dieser Art kommt man bereits mit 3—5 Kerzenstärken aus. Die Markierungslichter des Landekreuzes dagegen beanspruchen mehr Strom; da sie sich jedoch in der Nähe des Scheinwerfers bzw. der Kraftzentrale befinden, können sie den Strombedarf aus letzterer decken. In dieser Weise ist der ganzen Anlage eine gewisse Beweglichkeit gegeben.

Für die Landekreuzmarkierung auf stationären Plätzen ist neuerdings ein Vorschlag gemacht worden, der in folgendem besteht: Man versieht sämtliche bei den verschiedensten Windrichtungen in Betracht kommenden Stellen für das Lande-

[1]) Über „Lichtverteilung auf dem Boden" siehe: R. Böker, Elektrotechn. Zeitschr. **41**, 25 bis 26 (1920).

kreuz mit in den Boden eingelassenen Lichtern, die sämtlich von einer Zentralstelle aus bedient werden. Und zwar geschieht das nach dem Vorschlage automatisch mit Hilfe eines durch eine Art Windfahne betätigten Schalters. Je nach der augenblicklichen Windrichtung wird immer dasjenige Landekreuz aufleuchten, das ihr entspricht. Damit erscheint zwar ein Landen gegen den Wind gewährleistet; trotzdem haften dem Verfahren aber schwerwiegende Mängel an. Einmal ist der Apparat nicht so rücksichtsvoll, nicht gerade im Moment einer Landung eine Umschaltung vorzunehmen; vielmehr wird er gerade bei böigem Wetter ein lustiges Spiel beginnen. Dann aber liegt in der Mechanisierung einer derartigen Vorrichtung immer die Gefahr, daß sich Defekte, sei es am Schalter, an den ziemlich langen Leitungen oder an der Lampe, nicht von selber bemerkbar machen. Eine völlige Ausschaltung von Mannschaft wird auch so nicht erreicht. Dann aber scheint es vorteilhafter zu sein, wenn man die Schaltung nicht einer Windfahne, sondern dem Flugleiter überträgt, der zu diesem Zweck ja durch eine solche unterstützt werden kann.

2. Besondere Ausführungen.

Wir gehen nunmehr zu den benötigten Geräten selber über.

a) Leuchtfeuer zur Orientierung.

Die Bestreichung des Halbraumes wird bei den bisher gebräuchlichen Scheinwerfern nicht erzielt. Trotzdem hat sich z. B. das sog. „Beli"-Leuchtfeuer nicht schlecht bewährt; es ist ein mit Effektlampe versehenes, nach allen Richtungen der Horizontalebene streichendes Leuchtfeuer, wie es ähnlich für kleinere Hafenleuchtturmanlagen verwendet wird. Seine Optik ist derartig, daß es auch noch von schräg oben leidlich sichtbar ist. Dadurch, daß es intermittierend (Drehfeuer) arbeitet, wird eine relativ große Leuchtwirkung erzielt. Bei solchen Geräten, ähnlich wie auf See, kurze Lichtblitze zu benutzen, ist völlig unangebracht, da die Beobachtung aus dem Flugzeug gegenüber der vom Schiffe aus wesentlich beeinträchtigt ist. Will man etwa zugleich, wie auf See, die Station durch Spezialzeichen charakterisieren, so muß man zu längeren Lichttakten greifen und vor allem größere Dunkelpausen ausschließen. Nichts spannt im Flugzeug psychisch so an, als das Erlauern eines Signals.

Eine andere Ausführungsform zeigen Abb. 303—305. Vier Spezialbirnen sind im Innern eines pyramidenartigen Glasgehäuses untergebracht. Dazwischen befindet sich eine Anzahl gefärbter Glasstreifen, die durch einen automatisch bewegten Mechanismus abwechselnd flach oder steil gestellt werden können. Dadurch verändern sie die Farbe des ausgesandten Lichts. Das scheinbar etwas umständliche Verfahren rechtfertigt sich aus nicht weiter zu erörternden Gründen. Lediglich als Leuchtfeuer betrachtet hat diese Einrichtung den Beweis erbracht, daß auch ohne umständliche Optik ein für viele Zwecke ausreichender Lichteffekt erzielt werden kann. Die Wechselvorrichtung dürfte aber nicht als vorbildlich gelten, da ihr Effekt nur teilweise wirkt, wie schon die Betrachtung von Abb. 305 lehrt.

Will man das Problem rationell lösen, so wird man berücksichtigen, daß der zu bestreichende Raum keine Halbkugel, sondern ein ziemlich flaches Rotations-

Digitized by Google

Abb. 303. Leuchtfeuer (Alig).

Abb. 304. Signalisierung durch Leuchtfeuer (Alig). (Farbgläser geschlossen.)

ellipsoid darstellt; als Scheitelhöhe wird man etwa 5 km, als Radius auf dem Erdboden etwa 40 km und mehr fordern. Es scheint also, als ob man mit einem nur wenig veränderten Fresnelschen Prisma noch am ersten Erfolge erzielen kann.

Digitized by Google

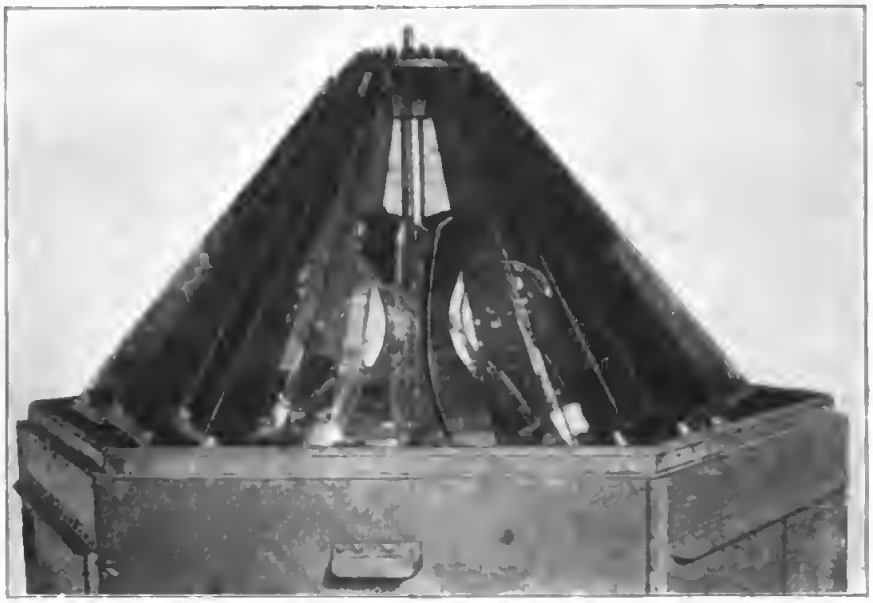


Abb. 305. Signalisierung durch Leuchtfeuer (Alig). (Farbgläser geöffnet.)

b) Landebahnbeleuchtung.

Unter den Azetylenscheinwerfern hat sich der in Abb. 306 dargestellte am besten bewährt; er besitzt ein verhältnismäßig kleines Gewicht, ist leicht transportabel

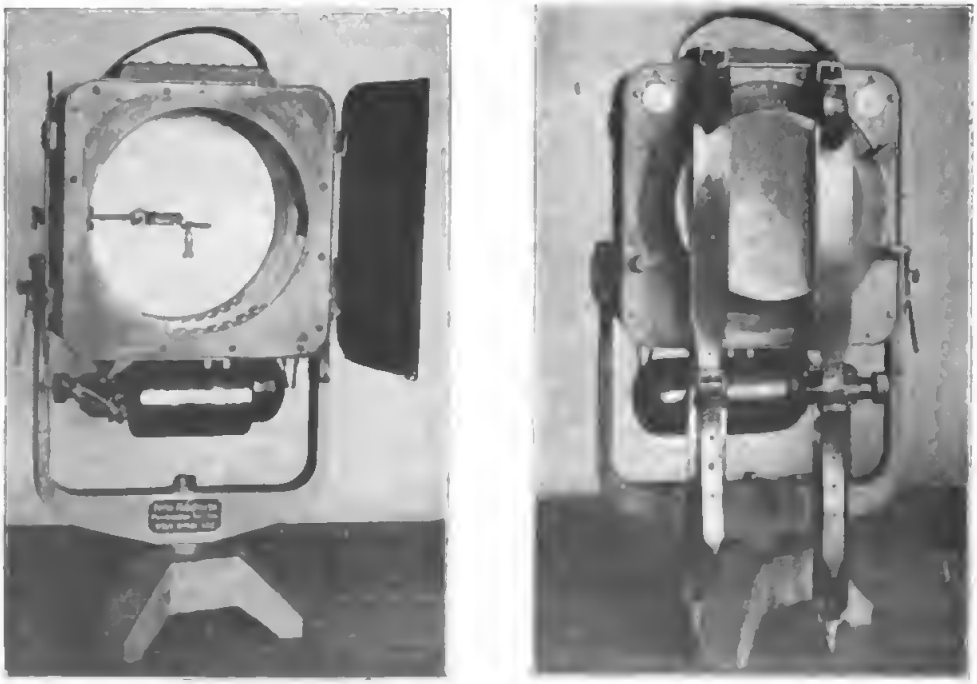


Abb. 306. Azetylenscheinwerfer (Bamag).

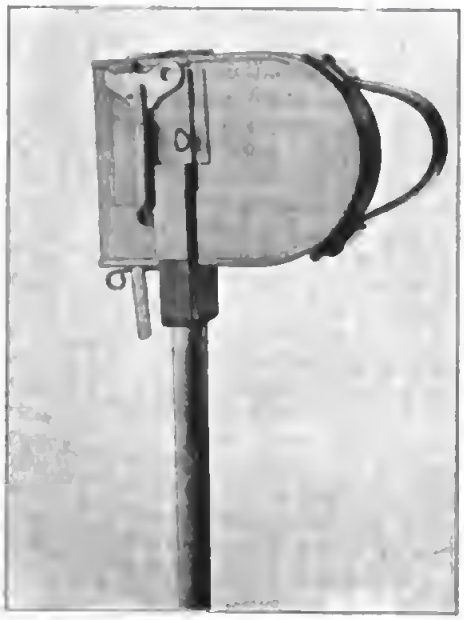


Abb. 307. Magnesiumfackel (Boehm).

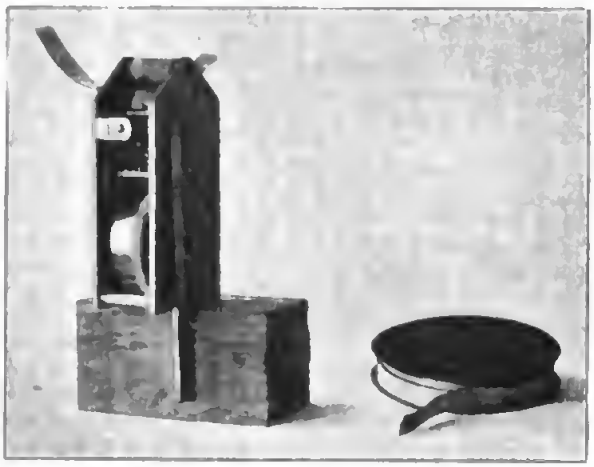


Abb. 308. Uhrwerk und Magnesiumstreifen der Magnesiumfackel (Boehm).

Abb. 309. Kleiner elektrischer Scheinwerfer (Graß u. Worff).

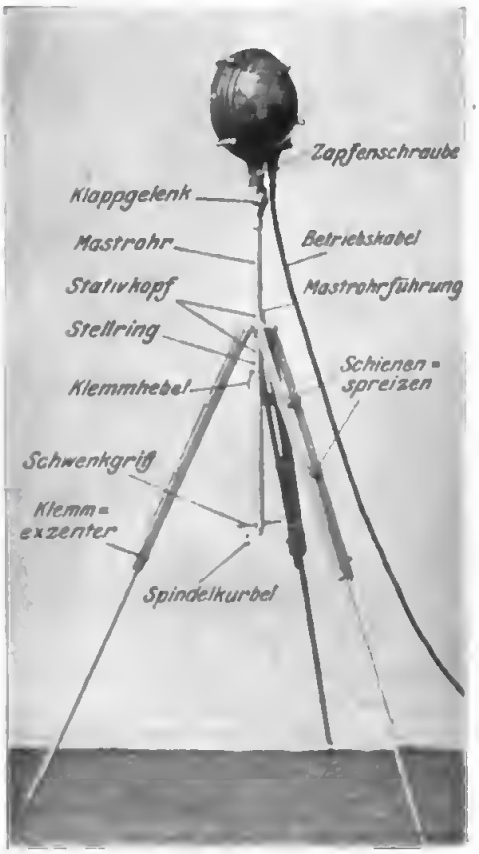


Abb. 310.
Wiskottscheinwerfer (Busch).

und hat einen guten optischen Effekt. Er reicht für mehrere Stunden aus; für Dauerbrand ist er natürlich nicht geeignet. An Stelle des kleinen Fußes benötigt er im Gebrauche ein mindestens 1,5 m hohes Stativ. Zwei solcher Geräte genügen vollauf zu einer brauchbaren Erhellung der Landebahn.

Eine Magnesiumfackel, die jedoch lediglich als Notbehelf zu betrachten ist, zeigt Abb. 307 und 308. Das Magnesiumband wird durch ein Uhrwerk selbsttätig nachgeschoben, wodurch eine ziemlich konstante Helligkeit erzeugt wird. Die Brenndauer ist beschränkt und normal auf 10 bis 15 Minuten berechnet; man kann sie natürlich auch größer wählen. Bei plötzlichem Versagen einer elektrischen Anlage können solche Fackeln vielleicht von Wert sein.

Abb. 311. Effektscheinwerfer (Zeiß).

Ebenfalls als Behelf anzusehen sind die kleinen Scheinwerfer der Firma Graß & Worff (Abb. 309) und der Firma Busch (Abb. 310). Sie benötigen eine 12 Volt-Batterie; zu mehreren aufgestellt können sie zwar nicht die ganze Landebahn erhellen, wohl aber die Stelle des Landekreuzes einigermaßen kenntlich machen. In dem Sinne sind sie wieder bei Versagen der Kraftanlage von Bedeutung. Da sie unabhängig vom Leitungsnetze leicht transportabel sind und eine Brenndauer von mehreren Stunden besitzen, eignen sie sich auch für Markierung und Beleuchtung besonders unangenehmer Terrainstellen auf Plätzen.

Als Typus eigentlicher Landescheinwerfer sei Abb. 311 gegeben. Neben Zeiß haben auch Goerz und andere Firmen Geräte gebaut, die ihrem Zweck vollkommen entsprechen. Auf die Einzelheiten braucht hier nicht eingegangen zu werden. Als notwendig erweist sich das Vorhandensein einer verstellbaren Fokussierung, eines Schalters und einer Einrichtung, die jede beliebige Einstellung aufs einfachste erlaubt. Zu bemängeln ist bei fast allen Formen die zu geringe Höhe.

Als eine besondere Kategorie von Beleuchtungskörpern mit großer Streuung sind die sog. Sonnenbrenner der Firma Pintsch zu nennen. Ein solcher enthält 10 Stück der früher (S. 236) erwähnten Parabollampen auf einer Kreisscheibe in zwei Ringen angeordnet (3 + 7); eine besondere Optik ist nicht vorhanden, wird vielmehr durch den Spiegelbelag der einzelnen Birnen ersetzt. Sie werden entweder parallel geschaltet und mit 12 Volt, oder besser zu je fünf hintereinander mit 60 Volt gespeist. Sie eignen sich vorzüglich für die oben besprochene, einseitig gestaffelte Landebahnbeleuchtung.

c) Landekreuzmarkierung.

Die Aufgabe, dem Piloten schon von weither das Landekreuz zu zeigen, ihn aber trotzdem bei der Landung nicht zu blenden, hat man auf folgende Weise gelöst. Grundsätzlich darf man keine punktförmige Lichtquelle verwenden, sondern eine große mattleuchtende Fläche. Der Körper besteht aus einer direkt auf den Erdboden zu stellenden Glühlampe (32—50 Kerzen); über dieser wird ein flacher, mit transparentem gelbem Stoff bespannter Schirm von etwa 1 m Durchmesser ausgespannt. Das ganze ist nur etwa 30 cm hoch. Je eins dieser Geräte wird rechts und links vom Landekreuz, etwa 30 m voneinander entfernt aufgestellt. Ein Überrollen hat für das Flugzeug keine schädlichen Folgen, da der Schirm sofort nachgibt. Erfahrungsgemäß gehört Derartiges zu den größten Seltenheiten.

Eine ähnliche Idee ist im Auslande aufgetaucht (Abb. 312). Hier ist die Lampe völlig in den Boden gelassen; darüber befindet sich ein mit durchscheinendem

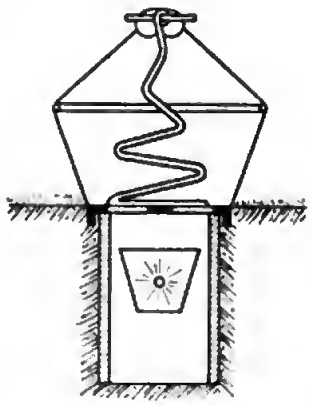


Abb. 312. Landungslicht.

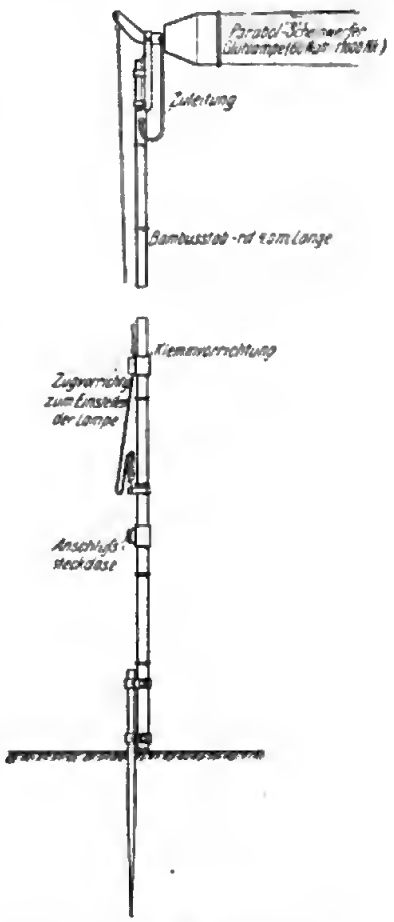


Abb. 313. Landungsweiser (Pintsch).

Stoffe bespanntes leichtes Gestell, das zusammenklappbar ist und durch eine Spiralfeder gespannt wird; beim Überrollen soll es sich zusammenlegen, ohne dabei zu leiden.[1])

Zieht man es vor, das Tuchkreuz selber zu beleuchten, so kann man sich des in Abb. 313 skizzierten Landungsweisers der Firma Pintsch bedienen. Auf einer mehrere Meter hohen Bambusstange, die im Boden drehbar eingesteckt wird, sitzt eine Parabollampe, die vermittels eines Zuges gesenkt und gehoben werden kann. Aus etwa 30 m Entfernung kann man das Tuch noch ausreichend damit erhellen.

[1]) Le Genie Civil 9116 Nr. 2 und Scientific American 1916 Nr. 19.

d) Markierungslichter für das Ende der Landebahn und die Grenzen des Platzes.

Normen für diese Zwecke sind noch nicht geschaffen worden. Eigentliche Scheinwerfer sind hier nicht am Platze, weil sie die Abschätzung der Entfernung erschweren. Mit teilweisen Reflektoren versehene Glühlampen in etwa 1—1,5 m Höhe dürften genügen. Als Ersatz kommen, wenigstens bei trockenem und nicht zu windigem Wetter auch einfache Petroleumlampen in Frage. Sind genügend Mannschaften zur Verfügung, ist auch bengalisches Feuer brauchbar. Wie man sieht, ist hier wieder der Phantasie Spielraum gelassen.

D. Signalgeräte.

1. Signalgebung vom Flugzeug aus.

Die verschiedenen Anforderungen des Krieges gaben der Frage der Zeichengebung vom und zum Flugzeug eine früher unbekannte Bedeutung. Wenn auch das Hauptmittel hierfür die Funkentelegraphie ist, die in einem besonderen Bande dieser Sammlung behandelt wird, so verbleiben doch eine ganze Anzahl von Hilfsmitteln, um im Falle des Versagens ersterer den Faden der Verständigung nicht gänzlich abreißen zu lassen. Wir können unterscheiden zwischen mechanischen, akustischen und optischen Hilfsmitteln.

a) Mechanische Signalgebung.

Zu den mechanischen rechnen Abwurftaschen und Rauchpatronen. Beide haben sich leidlich bewährt. Selbstverständlich setzen sie eine gewisse Aufmerksamkeit bei dem auf dem Erdboden befindlichen Beobachter und außerdem niedrigen Flug voraus. Abwurftaschen müssen ziemlich schwer sein, damit sie vom Winde nicht zu weit abgetrieben werden; zur Sichtbarmachung erhalten sie einen langen Wimpel. Rauchmunition besteht aus einer mittels Pistole abzuschießenden Kapsel, die in einem besonderen Hohlraum schriftliche Mitteilungen aufnimmt und zugleich einen Pulversatz enthält, der durch Rauchentwicklung das Auffinden erleichtert. Sie hat den Nachteil, daß sie bisweilen ihren Inhalt entzündet. Auch ist eine Verwechslung mit blindgegangener Abwurfsmunition an manchen Stellen vorgekommen, so daß die Meldung ihren Empfänger nicht erreichte; für den Frieden ist das natürlich nicht zu befürchten.

b) Akustische Signalgebung.

Akustische Mittel sind in verschiedenen Formen versucht und in kleinem Maße auch eingeführt worden. Am besten haben sich Automobilklaxone bewährt. Ihr Antrieb kann auf dreierlei Weise geschehen; entweder durch einen Elektromotor, wenn das Flugzeug mit einer Stromquelle ausgerüstet ist, oder durch Luftschraube, oder endlich durch direkte Kupplung mit der Motorachse. Der Propellerantrieb hat sich bisher am meisten bewährt; da es bei einem Klaxon wesentlich auf die Innehaltung der Tourenzahl ankommt, würde ein mit dem Motor gekuppeltes Klaxon z. B. im Gleitfluge versagen, d. h. gerade dann, wenn es vorwiegend benutzt werden soll. Wenn auch im Automobil Tourenwechsel ziemlich belanglos für die

Wirkung des Klaxons sind, so ist zu bedenken, daß ein akustisches Signal aus dem Flugzeug eine ganz beträchtliche Lautstärke erfordert, namentlich dann, wenn die aufnehmende Stelle etwa durch Motoren- oder andere Geräusche beeinträchtigt ist. Solche Instrumente haben sich besonders als Signale bei Nachtlandungen als brauchbar erwiesen. Zeichengebung von einem Flugzeug zum andern ist jedoch auf diese Weise nur in kürzester Entfernung möglich.

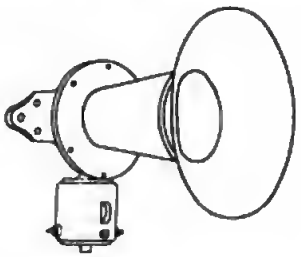


Abb. 314.
Motorsirene (Firchow).

Das elektrische Klaxon (Abb. 314) wurde in zwei Formen erprobt. Bei der ersten erfolgte die Ingangsetzung einfach durch Stromschluß; da jedoch das Nockenrad einen nicht unerheblichen Widerstand zu überwinden hat, kann ein solches Instrument leicht versagen. Die zweite Form ist zwar etwas umständlicher, aber zuverlässiger; durch einen Stromschlüssel wird dabei zuerst die Nockenwelle frei in Umdrehung versetzt, und beim weiteren Niederdrücken des Hebels durch mechanische Übertragung die Nockenwelle an den Anschlag der Membrane herangeführt; dadurch erhält das Instrument neben größerer Zuverlässigkeit auch höhere Lebensdauer. Versuche mit Auspuffpfeifen und anderen

Abb. 315. Montage der Sirenen.

musikalischen Instrumenten haben zu keinem Ziel geführt, da sie sich nicht bemerkbar machen können.

Grundsätzlich hat sich gezeigt, daß reine Töne überhaupt schwerer wahrnehmbar sind, als schwankende oder mit Nebengeräuschen belastete. Am besten sind sogar möglichst unmusikalische Dissonanzen. Darauf beruht nicht zuletzt die Wirkung der Sirene. Man kann die Dissonanz noch verstärken, indem man statt der gebräuchlichen kreisförmigen Platten in Klaxonen elliptische verwendet, die noch unreinere Töne hervorbringen.

Die Art der Anbringung von Klaxonen geht aus Abb. 315 hervor.

c) Optische Signalgebung.

α. Signalscheinwerfer.

Optische Signalgebung aus dem Flugzeug ist auf mehrfache Art versucht worden; Die Verwendung eines kleinen Signalscheinwerfers hat sich im allgemeinen nicht bewährt, da der Erfolg fraglich ist. Mit den bisherigen Mitteln ist jedenfalls ein solches Signal nur auf kürzeste Entfernung sichtbar, was namentlich für das Blinken bei Tage gilt. Bei Nachtflügen liegt die Schwierigkeit wieder darin, daß das Anvisieren erschwert ist. Trotzdem sind eine größere Zahl solcher Signalscheinwerfer, wie sie teils auch auf dem Boden gebraucht werden, in Benutzung genommen worden. Abb. 316—321 zeigen eine Reihe solcher Geräte. Für den späteren Ausbau

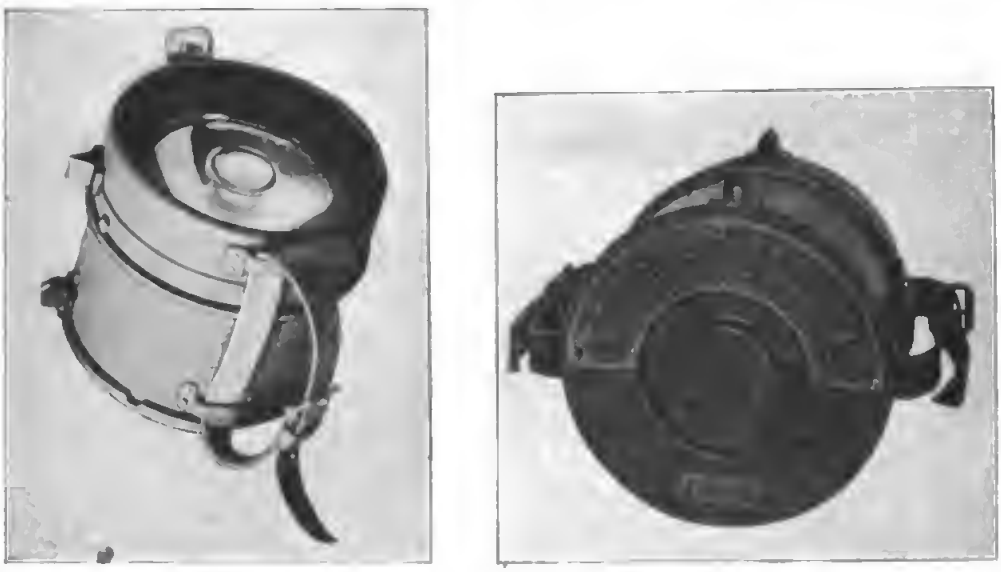


Abb. 316. Signalgerät (Graß u. Worff).

derselben sind vielleicht einige Bemerkungen angebracht. Dringend erforderlich ist das Vorhandensein zweier Griffe, und zwar ist die geeignetste Form die der Abb. 316 und 319. Der Schalter muß, wie immer, einen großen Hubweg besitzen und so leicht gehen, daß seine Bedienung keine Veränderung der Visierrichtung hervorruft. Die Ein- und Ausschaltung wird entweder durch elektrischen Schluß oder durch Abblendung bewirkt. Ist ersteres der Fall, so muß der Schluß auf einen längeren Teil des Hubweges fallen, d. h. der Kontakt muß gut gefedert sein. Nur dadurch wird ein störendes Aussetzen des Signals vermieden. Bei Abblendung tritt dieser Umstand weniger auf. Man kann endlich auch noch wechselnde Farbscheiben nach Art eines Jalousieverschlusses verwenden, wie es bei dem Gerät der Abb. 321 geschehen ist. Dies Verfahren ist jedoch nur für besondere Zwecke zu empfehlen. Der Spiegel muß streng parabolisch sein, wenn größere Entfernungen erreicht werden sollen; die nötige Streuung bewirkt die ausgedehnte Lichtquelle von selbst. Es ist sogar vorteilhaft, diese möglichst punktförmig zu gestalten. Das Anvisieren

soll nicht durch ein Rohr, wie Abb. 320, sondern mit Kimme und Korn vorgenommen werden.

Größere Scheinwerfer, wie man sie zu anderen Zwecken im Flugzeug bisweilen mitgeführt hat, haben die Eigenschaft, daß sie sich schwer oder gar nicht richten lassen. Zum Signalisieren brauchbar haben sie sich nur beim Anflug des Hafens

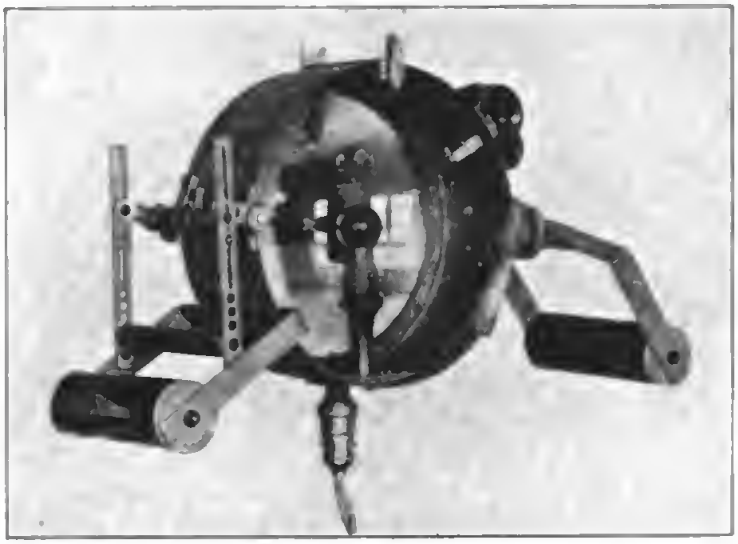


Abb. 317. Signalgerät (Zeiß).

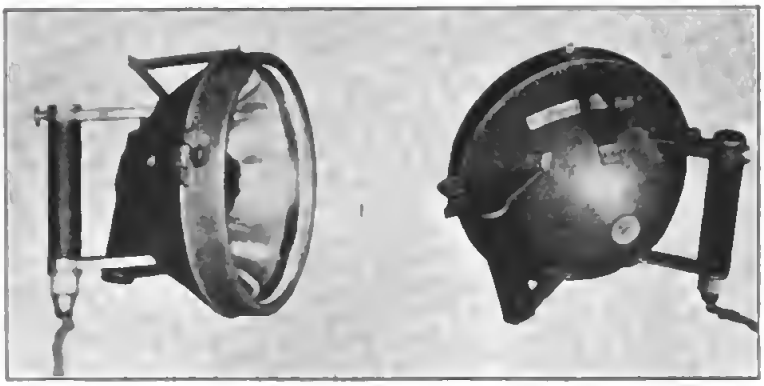


Abb. 318. Signalgerät (Goerz).

in geringer Höhe, etwa vor einer Landung, erwiesen; hier können denn auch die eigentlich zur Beleuchtung der Landestelle dienenden Rampenlichter verwendet werden.

In Anbetracht, daß die zum Betrieb eines großen Scheinwerfers nötige Stromquelle im Flugzeuge bisweilen nicht vorhanden ist, hat man noch ein anderes Prinzip der Signalgebung dienstbar zu machen versucht. Man benutzt einen etwa auf dem Flugplatze aufgestellten Effektscheinwerfer, der sein Licht dauernd dem Flugzeuge zuwirft. Auf letzterem befindet sich nun ein Spiegel; wird beabsichtigt,

eine Mitteilung nach dem Boden gelangen zu lassen, so reflektiert man mit Hilfe dieses Spiegels den Lichtstrahl zur aufnehmenden Station am Boden. Man arbeitet

Abb. 319. Signalgerät (Beli).

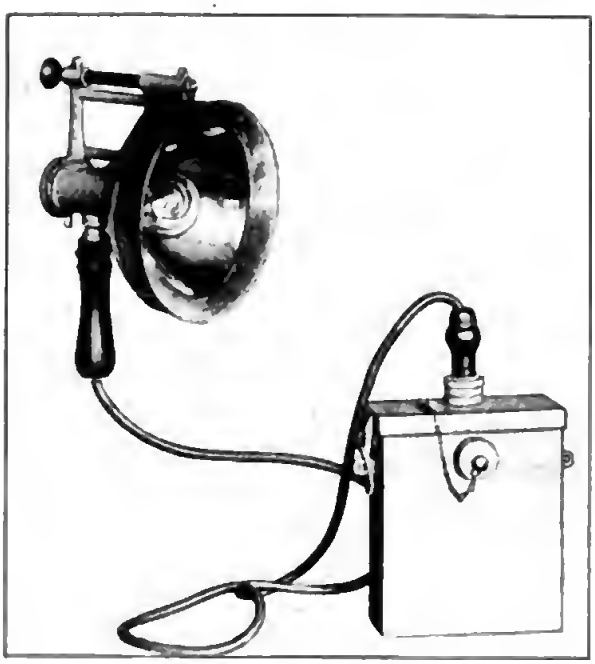


Abb. 320. Signalgerät (Varta).

also gewissermaßen mit erborgtem Lichte. Die Ausführung dieser Idee würde jedoch daran scheitern, daß die Bedienung eines einfachen Spiegels in gedachter Weise praktisch unmöglich wäre, da eine fortgesetzte Anvisierung und Richtung

des Strahles bei den großen Schwankungen des Fluges sich von selbst verbietet. Es ist das Verdienst der Firma Graß & Worff, hier einen Ausweg angegeben zu haben (Abb. 322). Sie verwendet an Stelle des gewöhnlichen Spiegels einen sog.

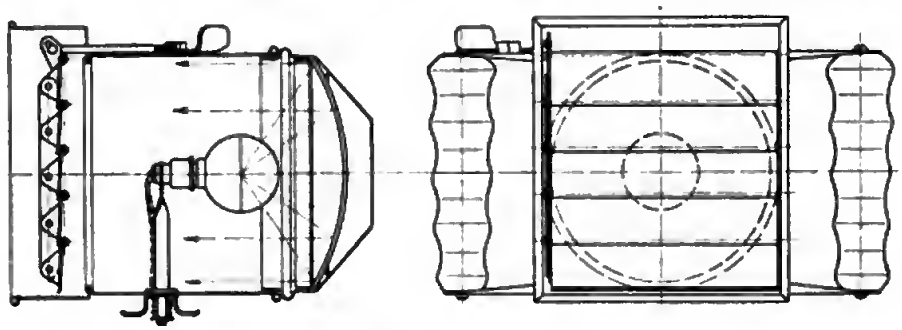


Abb. 321. Signalgerät (Alig).

Tripelspiegel, d. h. drei zueinander unter bestimmtem Winkel versetzte Spiegelscheiben; diese haben die Eigenschaft, einen auffallenden Strahl in sich selbst zu reflektieren, unabhängig von der Lage des Spiegels, solange nur ein gewisser Winkel nicht überschritten wird. Dadurch erübrigt sich eine ängstliche Anvisierung; es ist nur nötig, den vom Boden her kommenden Strahl mit einem ungefähr orientierten Empfangsspiegel, der mit Jalousieverschluß ausgerüstet ist, aufzufangen und durch Öffnen und Schließen dieses Verschlusses wieder an den Ort des Scheinwerfers zurückgelangen zu lassen. Der Spiegel ist so konstruiert, daß seine Signale nur in unmittelbarer Nähe dieser Lichtquelle aufgefangen werden können; dadurch wird gleichzeitig das Signalgeheimnis gewahrt. Ob die so erreichte Lichtstärke freilich den Erwartungen entspricht, kann hier nicht gesagt werden. Das Verfahren stellt vorläufig nicht viel mehr als eine geistvolle Idee dar; für Nachtflüge scheint es jedoch kaum verwertbar zu sein, weil es die Kenntnis des jeweiligen Flugzeugortes voraussetzt.

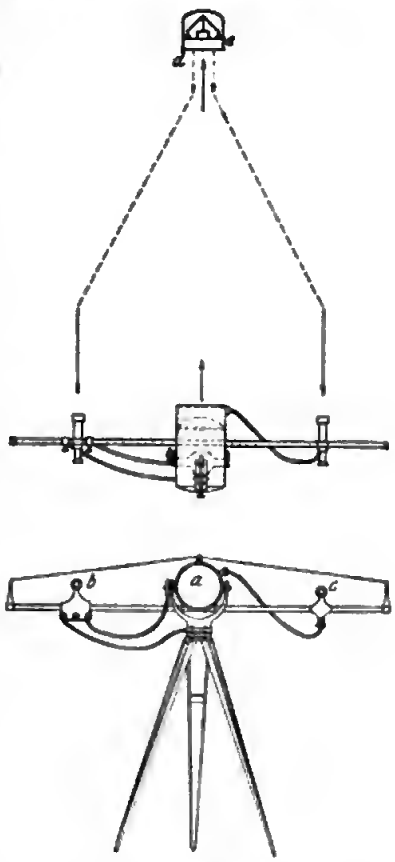


Abb. 322. Signalverfahren mit Tripelspiegel (Graß & Worff).

Zur Signalgebung vom Boden zum Flugzeug lassen sich die kleinen Geräte ebenfalls benutzen; unter kriegerischen Bedingungen haben sie in dieser Beziehung sogar eine gewisse Bedeutung gewonnen. Jedoch ist zu bedenken, daß gespannteste Aufmerksamkeit seitens der Besatzung dazu gehört, die Signale wahrzunehmen. Bei Tage erschwert die Helligkeit der Umgebung das Auffinden; daraus folgt, daß die Zeichengebung aus

dunkler Umgebung heraus (Vertiefung im Boden, schwarze Tücher) erfolgt. Bei Nacht ist der gebenden Stelle wieder das Anvisieren erschwert. In diesem Falle behilft man sich durch Vergrößerung des Streukegels; deshalb soll die Fokussierung regulierbar sein. Für den Frieden aber sind größere Scheinwerfer, wie sie zur Landeplatzbeleuchtung verwandt werden, unbedingt vorzuziehen.

Optische Übermittlung von einem zum anderen Flugzeug ist mehr oder weniger Spielerei. Wirklich angewandt ist sie wohl niemals.

β. Leuchtmunition.

Ein sehr wichtiges Verständigungsmittel bei Nacht wie bei Tage sind Leuchtkugeln verschiedener Art. Sie haben anfänglich die Funkentelegraphie ersetzt, besonders erfolgreich beim Einschießen. Sie sind auf weite Strecken hin sichtbar, doch bilden sie einen erheblichen Ballast im Flugzeuge und bedeuten gleichzeitig, namentlich unter kriegerischen Umständen, eine Gefahrenquelle. Die Bedienung der Pistolen in der bisher gebräuchlichen Form ist etwas umständlich; Versager sind nicht ausgeschlossen. Der Vorteil dieses Verfahrens, das sich auch im Frieden erhalten wird, liegt darin, daß selbst der nicht eingeweihte Zuschauer die Absicht zu erraten vermag, z. B. aus der Abgabe einer roten Leuchtkugel die Absicht des Landens erkennen dürfte. Für Nachtflüge hat sich das Verfahren bis heute als das einzig Zuverlässige erhalten. In Hinsicht auf die Feuersgefahr ist es unbedingt erforderlich, die zum Abschuß verwandte Leuchtpistole an einem geeigneten Ort fest zu montieren.

In gleichem Maße wichtig ist die Signalgebung durch Leuchtmunition für den Verkehr vom Boden zum Flugzeug. Nicht nur die Schnelligkeit, mit der gewisse Mitteilungen gegeben und verstanden werden, ist dabei von Bedeutung, sondern auch der Umstand, daß mit ihrer Hilfe Bodendunst und Nebel überwunden werden können, was Scheinwerfern meistens nicht möglich ist. Insbesondere sind hier die sog. „Radieschenbomben" wertvoll, die bis zu größerer Höhe (250 m) emporgetrieben, Wolkendecken durchstoßen und verirrten Flugzeugen Anhaltspunkte geben können.

γ. Rauchsignale.

Ein weiteres optisches Signalgerät für das Flugzeug liegt in dem „Möve"-Apparat vor (Abb. 323—325). Dieser besteht aus einem Metallzylinder, der konzentriertes Schwefeltrioxyd enthält. Bei Öffnung eines Hahnes strömt dieses unter Druck aus und hinterläßt im Fluge weiße Nebelstreifen. Man kann durch intermittierendes Öffnen Morsezeichen in die Luft setzen; vorausgesetzt ist dabei ruhiges Wetter, da selbst geringe Böen die Zeichen schnell verwischen; und blauer Himmel, weil sich die Zeichen auf einer Wolkendecke kaum abheben. Striche und Punkte lassen sich nur dann unterscheiden, wenn erstere sehr lang gegeben werden. Alsdann ist aber auch der Vorrat verhältnismäßig schnell aufgebraucht, so daß ein wirkliches Morsen, das über einige Buchstaben hinausgeht, ausgeschlossen ist. Die technische Bedienung des Schwefeltrioxyds ist nicht sehr angenehm. Aus allen diesen Gründen hat sich das Instrument nicht völlig bewährt. Es sind auch Ver-

Abb. 323. Nebelstreifen-Signalgerät „Möve" (Höchster Farbwerke).

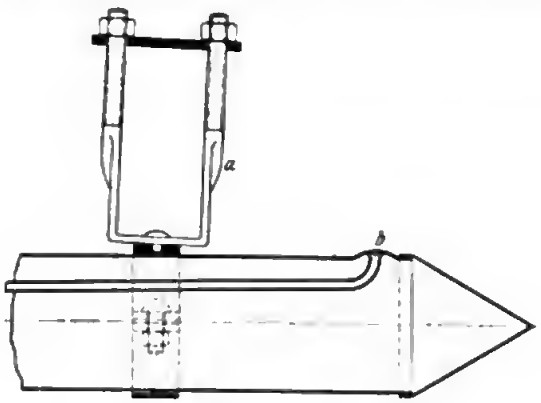


Abb. 324. Signalgerät „Möve".

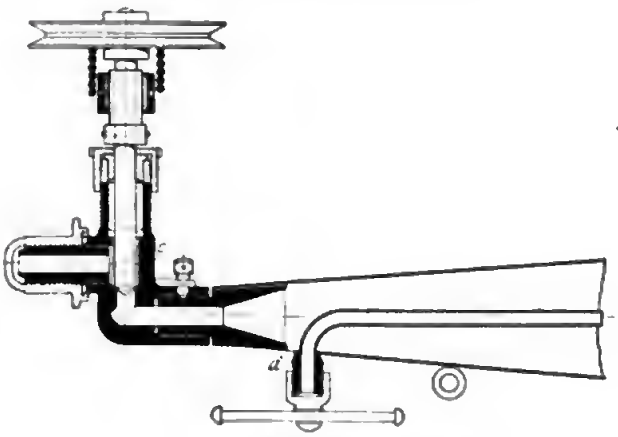


Abb. 325. Signalgerät „Möve".

suche gemacht worden, diese Rauchstreifen zu färben, und zwar sowohl rein chemisch wie auch durch Zusatz von gefärbten Pulvern. Man ist jedoch nicht über die Versuche hinausgekommen.

2. Tuchzeichen — Signalgebung vom Boden.

Wir lernten oben einige Hilfsmittel für den Verkehr vom Boden zum Flugzeug kennen. In vollkommener Weise ist diese Aufgabe erst durch die Entwicklung des F. T-Wechselverkehrs gelöst worden, worüber sich Ausführliches im Bande „Funkentelegraphie" dieser Sammlung findet. Trotzdem ist die alte Methode der optischen Zeichengebung vom Boden noch nicht aus der Welt geschafft; namentlich spielte sie für kriegerische Aufgaben von Anfang an eine wichtige Rolle. Häufig handelt es sich nur darum, dem Führer einige wenige vereinbarte Mitteilungen zu machen. Man hat sich bis heute am besten mit farbigen Tüchern beholfen. Die Größe solcher Tücher beträgt mindestens 1×8 m, wenn eine Verständigung einigermaßen sicher erfolgen soll. Handelt es sich um Dauerzeichen, so ist natürlich ein größeres Maß vorzuziehen; werden jedoch die Tücher häufig gewechselt, so erfordert das Umlegen Personal und Zeit. Es sind auf diesem Gebiete verschiedene Vorschläge gemacht worden. Als der interessanteste erscheint der folgende (Abb. 326): Auf zwei an Pfählen befestigten Drahtseilen laufen in Ösen befestigte Tücher von etwa 1 : 1 m, die sich ähnlich wie eine Gardine hin und her ziehen lassen. Sind sie ausgespannt, so bedecken sie einen Streifen von etwa 10 m Länge und werden von dem Flieger als zusammenhängendes Tuch angesehen. Im zusammengelegten Zustande verschwinden sie. Es ist jedoch auf diese Weise auch möglich, sie umzudrehen, wobei die anders gefärbte Rückseite erscheint. Mit diesem einfachen Gerät, das leicht transportabel und sehr einfach und schnell zu bedienen ist, lassen sich eine ganze Anzahl von Zeichen geben, und auch für den Frieden wäre auf Flugplätzen ein solches Gerät nicht zu unterschätzen. Da es jedoch in diesem Falle nicht auf die leichte Transportfähigkeit ankommt, läßt sich die Aufgabe wahrscheinlich noch einfacher lösen.

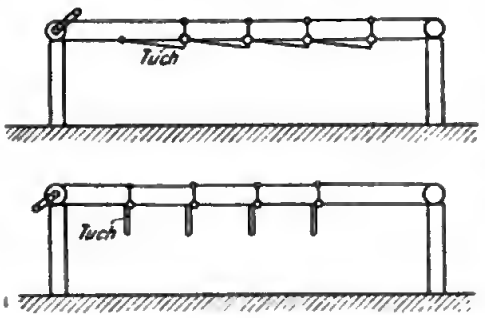


Abb. 326. Tuchzeichen (Weinberg).

Abschnitt IV.

Geräte zur persönlichen Unterstützung.

A. Atemgerät.

1. Allgemeine Gesichtspunkte.

Eine Folge der wachsenden Flughöhe war das Bedürfnis, die Besatzung mit leistungsfähigen Atemapparaten zu versehen. Auf den Gebieten des Bergbaues, des Caissonbaues, des Unterseebootwesens usw. lagen bereits zahlreiche Erfahrungen vor; auf die Fliegerei waren sie jedoch nicht ohne weiteres übertragbar. Fiel auch einerseits die Regeneration verdorbener Luft fort, so mußte doch den gänzlich anders gearteten Verhältnissen der Temperatur und des Luftdrucks Rechnung getragen werden.

Die unangenehmen Begleiterscheinungen beim Aufenthalt in großen Höhen lassen sich auf zwei Ursachen zurückführen; einmal ist es der verminderte Luftdruck selbst, der eine Erweiterung der Blutgefäße herbeiführt; ferner Mangel an Sauerstoff, der die Atmung erschwert. Ein Mittel zur Behebung ersterer Erscheinung ist bisher nicht gefunden worden und dürfte auch schwerlich zu finden sein. Wohl aber kann letzterem Übelstande wenigstens bis zu einem gewissen Grade abgeholfen werden. Da der Luftdruck in 5000 m Höhe $^1/_2$ Atm., in 8500 m $^1/_3$ Atm. beträgt, so ist es bis zu diesen Höhen ohne weiteres möglich, den Partialdruck des Sauerstoffs so zu vergrößern, daß er demjenigen auf dem Erdboden, nämlich $^1/_5$ Atm., gleichkommt. Das kann zwar nur auf Kosten der Dichte des Stickstoffs geschehen, der als Verdünnungsmittel ebenfalls eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt; aber immerhin kann er zur Not entbehrt werden. Zu stark konzentrierter Sauerstoff kann eine Art von Rausch hervorbringen; andererseits ist es eine auch durch wissenschaftliche Versuche (Oberstabsarzt Koschel und Dr. Wolff) gestützte Erfahrung, daß der Mangel an Sauerstoff dem Betreffenden selber häufig gar nicht zum Bewußtsein kommt, obwohl seine Handlungen bereits deutliche Zeichen der geistigen Erschlaffung zeigen. Dies ist auch der Grund für die Abneigung, die anfänglich gegen die Benutzung künstlicher Atmungsmittel herrschte. Gerade der Flugzeugführer in seiner verantwortungsvollen Tätigkeit sollte dieses Vorurteil überwinden.

2. Besondere Ausführungsformen.

a) Sauerstoffbomben.

Die ersten Geräte, die für den genannten Zweck Verwendung fanden, waren Sauerstoffbomben (System Dräger Abb. 327 und 328), deren Reduzierventil nach Be-

darf bedient wurde. Dieses primitive Verfahren besaß den oben erwähnten Nachteil in hohem Maße. Eine falsche oder leichtsinnige Handhabung des Ventils kann die Besatzung betäuben. Unsere Gegner, die bis jetzt noch bei der Benutzung komprimierter Gase stehen geblieben sind, haben in letzter Zeit ein selbsttätiges Reduzierventil geschaffen,[1]) das diesem Übelstande abhilft und gleichzeitig die Bedienung des Gerätes vereinfacht. Das Prinzip dieses Ventils besteht darin, daß durch den Außendruck ein Dosensystem beeinflußt wird, das wiederum ein Drosselventil betätigt. Um zugleich einen Maßstab für die pro Zeiteinheit verbrauchte Menge Gas zu haben, ist außerdem noch ein Strommesser in der Form eines recht

Abb. 327. Atemgerät (Draeger).

Abb. 328. Atemgerät (Draeger).

empfindlichen Windrädchens angebracht. Dieses Ventil löst die gestellte Aufgabe zur Zufriedenheit.

Nun haften aber dem Bombensauerstoff noch andere Mängel an. Einerseits ist das Gewicht einer solchen Bombe recht beträchtlich, wenn der Inhalt für einen längeren Flug und womöglich mehrere Insassen ausreichen soll. Aus dem Grunde hat sich bei uns das Verfahren nicht eingebürgert. Ein weiterer Mißstand ist die unter kriegerischen Verhältnissen, aber auch beim gewöhnlichen Fluge nicht zu unterschätzende Feuersgefahr, die eine solche Bombe birgt. Bei der im Kriege letzthin fast ausschließlich verwandten Brandmunition genügt ein Treffer, um an sich winzige Brandherde zu erzeugen, die durch den entströmenden Sauerstoff in kürzester Zeit zu einem großen Brande angefacht werden. Ja, selbst gewöhnliche Geschosse erzeugen beim Auftreffen auf die Stahlwand der Bombe eine so starke lokale Hitze, daß sie ausreicht, mit Hilfe des Sauerstoffs das Eisen zu ent-

[1]) Wm. R. Weigler, La Suisse Aérienne 2, 134—135 (1920).

zünden. Einen Beweis hierfür liefert Abb. 329. Die Beschießung erfolgte mit gewöhnlicher Munition. Die Ausschußstelle zeigt sogar in der Photographie deutliche Schmelzwirkung.

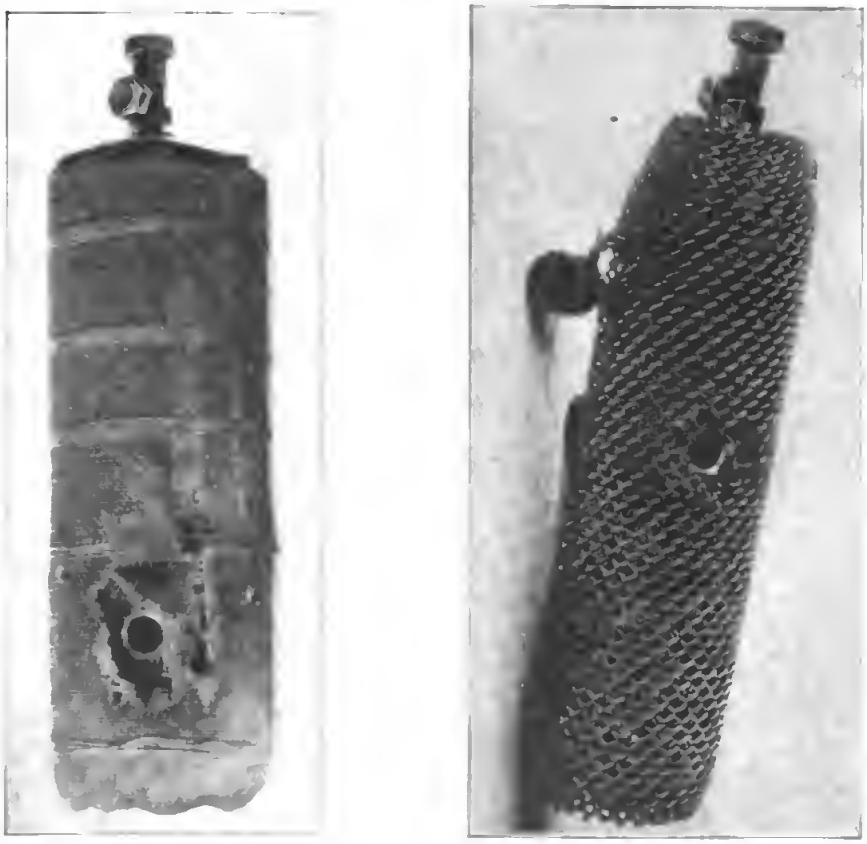


Abb. 329. Beschußversuche an Sauerstoffbomben durch gewöhnliche Munition

b) Geräte mit flüssiger Luft.

Ein ganz erheblicher Fortschritt wurde durch die Einführung von Atemgeräten mit flüssiger Luft erzielt. Diese Methode war bereits früher in Bergwerken mit Erfolg benutzt worden. Es galt nun, ein Verfahren zu finden, die Abgabe der flüssigen Luft nach Maßgabe des Bedarfs zu regeln. In Bergwerken verfährt man dabei meistens so, daß man in die in Dewar-Gefäßen befindliche Luft Heizstäbe hineintaucht, die an ihrem oberen Ende die außen herrschende, ziemlich konstante Temperatur annehmen und somit ein ebensolches Temperaturgefälle besitzen, wodurch der zu verdampfenden flüssigen Luft immer gleichviel Wärme zugeführt wird. Auf diese Weise wird eine gleichmäßige Verdampfung erzielt. Da nun im Flugzeug mit stark wechselnden Außentemperaturen zu rechnen ist, würde diese Methode schon deswegen versagen, weil gerade in großen Höhen, wo die Verdampfung eine reichlichere sein soll, tiefe Temperaturen herrschen, die das Temperaturgefälle und somit die Verdampfungsgeschwindigkeit herabsetzen. Ein wei-

terer Unterschied gegenüber den Verhältnissen im Bergwerk liegt in der Luftdruckabnahme. Die naheliegende Idee, den Luftdruck direkt zur Regulierung der Gasabgabe zu benutzen, scheiterte zuerst daran, daß zwar die Verdampfungsgeschwindigkeit unter verringertem Druck ein wenig wächst, aber längst nicht in dem Maße, wie es für die Praxis nötig ist. Der Erfolg eines solchen Apparates würde einfach der sein, daß er am Boden zuviel und in der Höhe zuwenig Gas abgibt. Es bleibt somit nichts weiter übrig, als ein Relais einzuschalten.

α. System „Ahrendt und Heylandt".

Diese Aufgabe ist in folgender Weise durch die Firma Ahrendt und Heylandt (Abb. 330 und 331) wenigstens teilweise gelöst worden: Man benutzt die auftretenden Druckunterschiede, um flüssige Luft mit bestimmter Geschwindigkeit in ein Verdampfergefäß hineinzudrücken. In diesem Gefäß findet eine restlose Verdampfung statt; der dadurch erzielte Überdruck verhindert, daß zuviel flüssige Luft nachgedrückt wird. Der Vorgang ist also folgender (Abb. 330): Die in dem durch eine Füllschraube hermetisch verschlossenen doppelwandigen Behälter *a* vorhandene flüssige Luft wird mittels ihres eigenen Druckes durch das Steigrohr *b* in den ersten Verdampfer *c* und von diesem in den zweiten Verdampfer *d* gedrückt, von wo aus sie durch eine längere Rohrschlange *e* durch das Reduzierventil *f* dem Verbraucher zugeführt wird. Der Druck im Behälter *a* wird durch ein Manometer *g* kontrolliert. Sind nun die zur Entnahme nötigen Ventile auf eine bestimmte Drosselung eingestellt, so wird im Innern des Verdampfergefäßes dauernd derselbe Gasdruck herrschen. Wird viel Sauerstoff benötigt, so sinkt der Druck im Vergasergefäß, flüssige Luft wird in erhöhtem Maße nachgedrückt und es tritt auf diese Weise eine selbsttätige Regulierung ein. Nach der obigen Darstellung ist es offensichtlich, daß die Verdampfungsgeschwindigkeit lediglich von der Druckdifferenz im Vorratsbehälter einerseits und im Verdampfergefäß andererseits abhängt; somit spielt also der Druck im Vorratsbehälter eine ausschlaggebende Rolle. Dieser Druck ist nach sachgemäßer Füllung anfangs klein und steigt mit der Zeit, so daß die verdampfende Menge allmählich zunehmen würde. Aus diesem Grunde war an dem üblichen Atemgerät ein Sicherheitsventil angebracht, das den Druck im Vorratsbehälter nur bis zu einem bestimmten Werte ansteigen lassen sollte. Nun arbeitet dieses Ventil aber gegen einen von der Flughöhe abhängigen, wechselnden Druck; infolgedessen hängt auch das Maximum im Innern von der Flughöhe ab und zwar gerade in unvorteilhaftem Sinne, d. h. das Druckmaximum

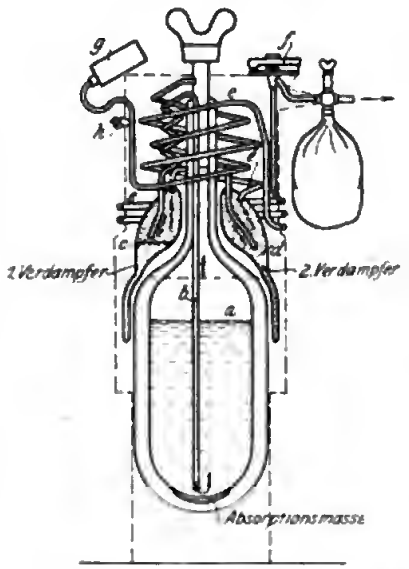


Abb. 330. Schema eines Atemgeräts mit flüssiger Luft (Ahrendt & Heylandt).

und damit die Verdampfungsgeschwindigkeit wird in großen Höhen sinken, in geringen Höhen dagegen unnötig steigen. Wenn sich das Gerät in dieser Form trotzdem gut bewährt hat, so ist das einem glücklichen Umstand zu verdanken. Denken wir uns nämlich einmal das Sicherheitsventil fort, so steigt die verdampfende Menge mit der Zeit an, wie wir schon sahen. Da der Apparat erst kurz vor dem Fluge geschlossen wird, fällt dieser Anstieg der Gasabgabe zeitlich mit dem Aufstieg des Flugzeugs zusammen: der erwünschte Effekt tritt also tatsächlich ein. Ein mehrmaliger erheblicher Höhenwechsel im Flugzeug gehört jedoch zu den Seltenheiten; in diesem Falle hätte sich die Unzulänglichkeit der Anordnung sofort offenbart. Es galt nun, diesen Fehler zu beseitigen.

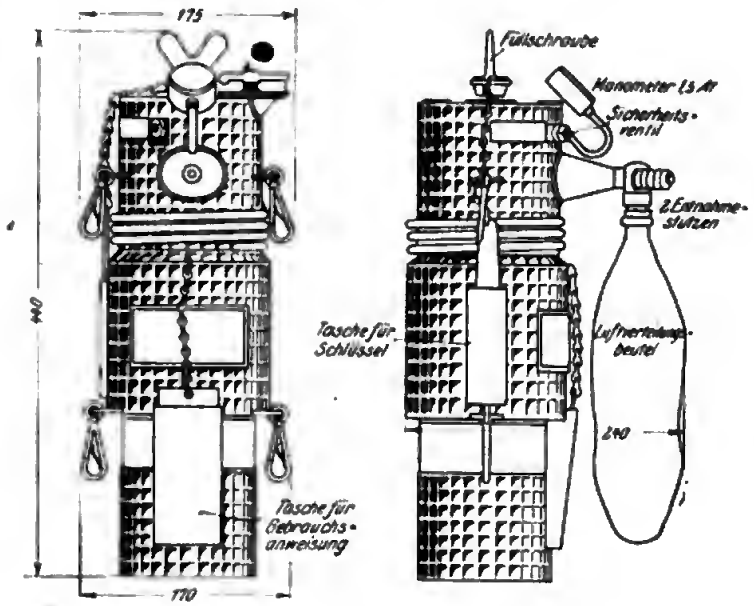


Abb. 331. Atemgerät (Ahrendt & Heylandt).

β. System „Flüssige Gase".

Die Firma „Flüssige Gase", Kiel, verfuhr folgendermaßen (Abb. 332): Unter Beibehaltung der gesamten früheren Anordnung legte sie zwischen den Behälter für die flüssige Luft und die Entnahmestelle ein Sparventil (Abb. 333); vermittels einer Dosenanordnung öffnet sich dieses bei hohem und schließt sich bei niedrigem äußeren Druck; die Übergänge sind stetig. Dieses Sparventil wirkt also im entgegengesetzten Sinne wie das Sicherheitsventil. Daß letzteres ebenfalls noch vorhanden ist, ändert an der Funktion nichts; es hat lediglich die Aufgabe, gefährlich hohe Drucke bei gelegentlicher Verstopfung zu vermeiden.

Damit wird nun einwandfrei eine Gasabgabe in jeder gewünschten Dosierung erzielt; einmal eingestellt, reguliert sie sich mit der Höhe von selbst. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß ohne dieses Zusatzventil eine Ökonomie im Verbrauch, namentlich bei längeren Flügen, nicht erreicht werden kann.

Abb. 334 zeigt ein Diagramm der Wirkungsweise. Kurve I gibt zur Orientierung den Luftdruck als Funktion der Höhe, Kurve II die Ausflußmenge in nicht reduzierten Litern, Kurve III diejenige in reduzierten Litern, beide wieder als Funktionen der Höhe. Der Anstiegspunkt, hier 2,5 km, kann beliebig gewählt werden;

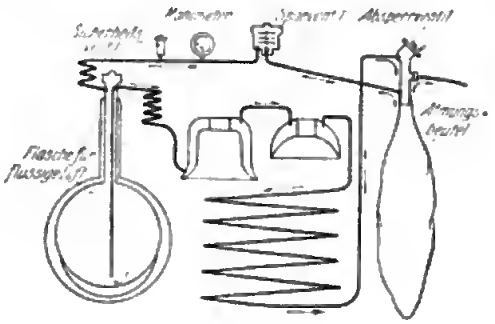


Abb. 332.
Schema des Atemgerätes („Flüssige Gase", Kiel).

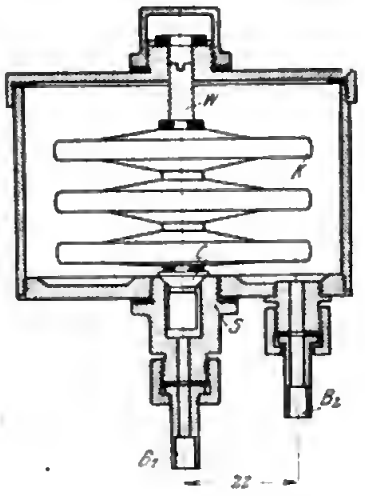


Abb. 333.
Sparventil („Flüssige Gase").

unterhalb desselben findet praktisch keine Vergasung statt. Die Gasabgabe ist völlig unabhängig von der Zeit.

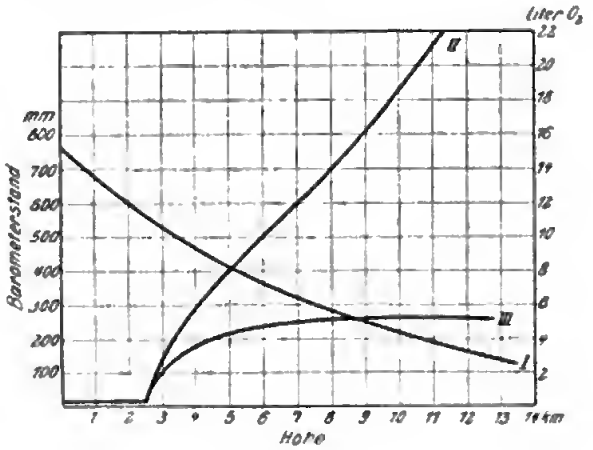


Abb. 334.
Arbeitsdiagramm des Atemgerätes („Flüssige Gase").

γ. Vorwärmung.

Da der austretende Sauerstoff — flüssige Luft, die bereits einige Zeit steht, enthält fast ausschließlich Sauerstoff — recht kalt und für die Atmung schädlich ist, wird ein längeres Rohr dazwischengeschaltet, das die Rolle eines Vorwärmers spielt. Auf diese Weise kann bestenfalls eine Erwärmung bis zur Außentemperatur

erzielt werden. Von verschiedenen Seiten wurde der Wunsch nach besserer Vorwärmung ausgesprochen, weil die infolge der Luftverdünnung erhöhte Atemtätigkeit die Kälte als besonders lästig empfinden läßt. Es wurden auch Versuche auf diesem Gebiete gemacht, die jedoch zu keinem Ergebnis führten. Der Gedanke, die Wärme des Auspuffrohrs zu verwenden, wurde aus Gründen der Feuersgefahr fallen gelassen, nachdem bei derartigen Versuchen, die freilich nicht ganz einwandfrei unternommen wurden, eine Explosion eingetreten war. Diese Art der

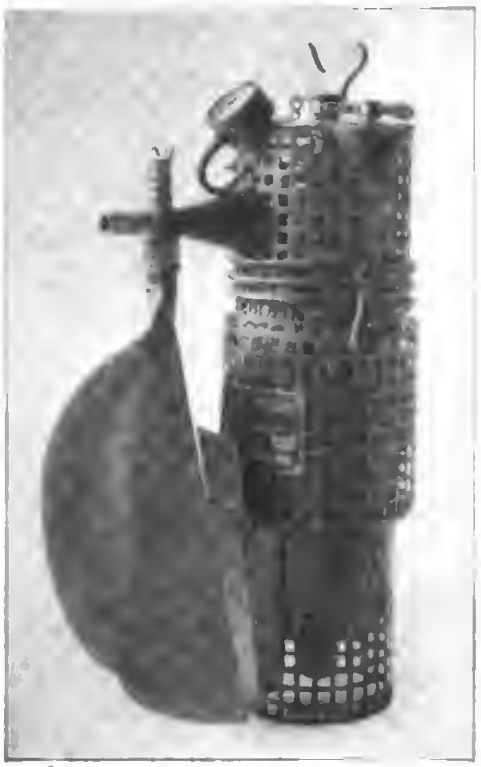


Abb. 335.
Atemgerät, kleine Form (Ahrendt & Heylandt).

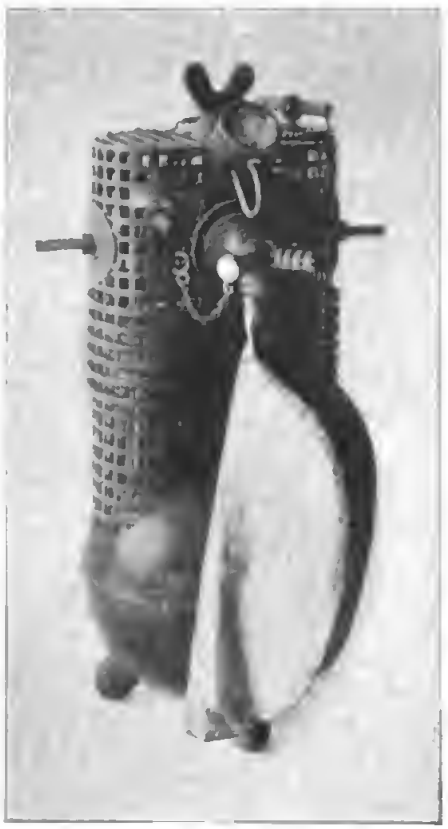


Abb. 336.
Atemgerät, große Form (Ahrendt & Heylandt).

Lösung ist jedenfalls schwieriger, als sie im ersten Augenblick erscheint und ist letzthin eine Materialfrage. Die Heizung elektrisch vornehmen zu wollen, bedingt wieder die Mitnahme einer ausreichenden Stromquelle. Der Einsitzer, als dasjenige Flugzeug, das am ersten große Höhen aufsucht und einer Unterstützung durch Atemgeräte bedarf, ist gerade mit Stromquellen am spärlichsten ausgestattet. Eine weitere Möglichkeit, die anscheinend die größte Aussicht auf Erfolg verspricht, liegt in der Benutzung der Kühlerwärme. Hier sind es lediglich konstruktive Schwierigkeiten, die eine Lösung bisher vereitelt haben. Der Grund hierfür ist in der sehr verschiedenartigen Gestaltung und Verlegung des Kühlers und seiner Rohrleitungen zu suchen. Ein Schritt vorwärts auf diesem Gebiet kann erst dann er-

folgen, wenn der Kühler zu einem gewissen Standard gekommen ist. Die äußere Form der Atemapparate ist in Abb. 335—338 dargestellt. Die Größe der Typen richtet sich wesentlich nach der Verbraucherzahl (drei Größen); dementsprechend sind ein oder mehrere Anschlüsse vorgesehen. Zum Druckausgleich zwischen den Atemzügen ist ein größerer Beutel aus luftdichtem Stoff eingeschaltet, der bei Abb. 338 im Innern des Gehäuses untergebracht ist. Die Reguliervorrichtung ist zur bequemen Bedienung sehr stabil ausgeführt. Bei kleineren Anlagen schließt sich

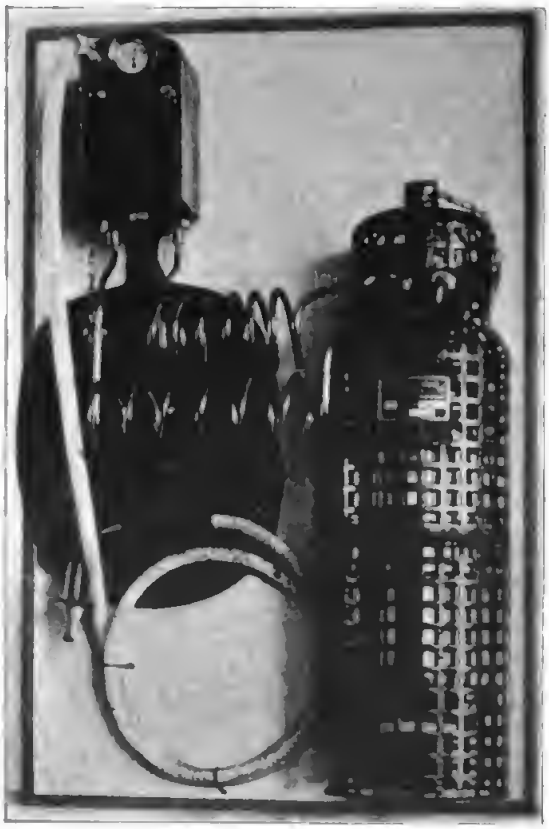


Abb. 337. Atemgerät, kleine Form („Flüssige Gase", Kiel).

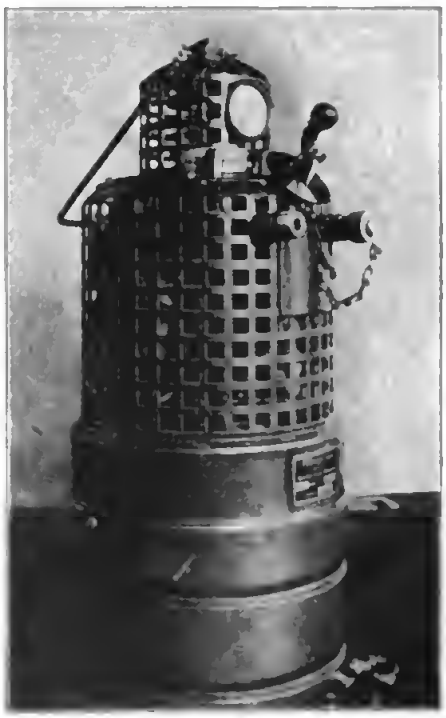


Abb. 338. Atemgerät, große Form („Flüssige Gase", Kiel).

der Verbraucher mit Hilfe eines Schlauches direkt an die Düse an; bei großen Anlagen, z. B. im Riesenflugzeug, ist eine stationäre Leitung mit Verteilern vorgesehen. Im Zweisitzerflugzeug hat sich erfahrungsgemäß die Zuteilung je eines Geräts an jeden Insassen am besten bewährt.

δ. Gewicht und Raumbedarf, Regulierung.

Der große Vorteil gegenüber den Bomben liegt bei dem Gerät mit flüssiger Luft in seinem geringen Gewicht. Bei größerem Luftbedarf kann man die Gewichts-

ersparnis auf rund 75 % annehmen.[1]) Eine schematische Gegenüberstellung siehe Abb. 339. Auch der Raumbedarf ist nicht ungünstiger als bei Bombenatmung; doch ergeben sich bei der Unterbringung gewisse Schwierigkeiten. Es ist nämlich sehr erwünscht, daß der Flugzeuginsasse den Apparat selbst bedienen kann. Das Öffnen eines Hahns etwa am Ende einer längeren Leitung genügt nicht zur einwandfreien Regulierung, sobald das Gerät nicht völlig exakt arbeitet; mithin muß das Gefäß so untergebracht werden, daß es sich in erreichbarer Nähe des Insassen befindet. Gerade bei Einsitzern stellt diese Forderung häufig keine kleine Aufgabe, da der Raum im Führersitz bereits mit anderen Gegenständen überfüllt ist. Enthoben ist man diesem Übelstand erst dann, wenn das Gerät so exakt arbeitet, daß eine Nachregulierung unnötig wird. Durch den oben erwähnten Zusatzregler ist nun aller Wahrscheinlichkeit nach diese Bedingung erfüllt.

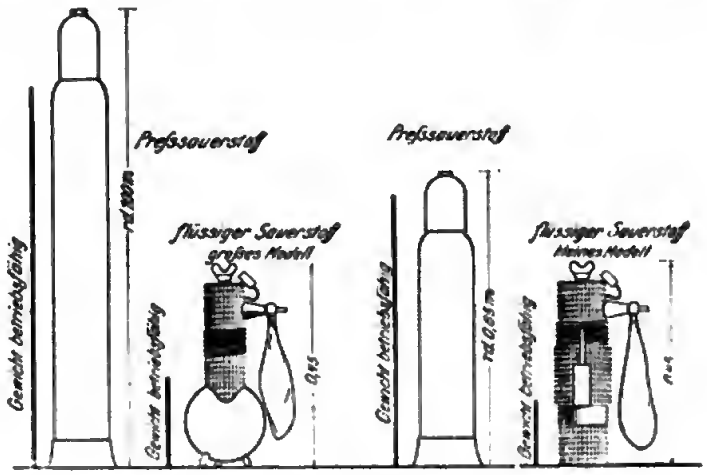


Abb. 339.
Gewichts- und Größenverhältnisse der Atemgeräte für Preß- und flüssigen Sauerstoff.

Die Raumfrage wird aber insofern immer von Bedeutung bleiben, als das Gefäß leicht auswechselbar sein muß. Diese Forderung ergibt sich aus der Eigenschaft der flüssigen Luft, nur begrenzte Zeit unter den vorhandenen Bedingungen existenzfähig zu sein. Darin liegt ein Nachteil des ganzen Systems, das eine gut funktionierende Organisation des Ersatzes der flüssigen Luft voraussetzt, wenn es sich in der Praxis als brauchbar erweisen soll. Unter kriegerischen Verhältnissen war eine solche Organisation wohl möglich und hat auch selten zu Beanstandungen

[1]) Genauere Daten für den Sauerstoffbedarf: 1 Person verbraucht 5 Liter pro Minute = 300 Liter pro Stunde.

Größe I	(1,3 Liter)	reicht für	1 Person	ca. 4 Stunden
			2 „	„ 2 „
Größe II	(2,3 Liter)	„ „	1 „	„ $6\frac{1}{2}$ „
			2 „	„ $3\frac{1}{4}$ „
Größe III	(5 Liter)	„ „	1 „	„ 15 „
			2 „	„ $7\frac{1}{2}$ „
			3 „	„ 5 „

Anlaß gegeben; ob in friedlichen Zeiten das gleiche der Fall sein wird, darüber wird die Zukunft entscheiden müssen. Auch die Rentabilität hängt damit eng zusammen.

ε. Feuersicherheit.

Was endlich die Feuergefährlichkeit dieses Atemgeräts betrifft, so schienen anfangs die Aussichten dafür nicht günstig zu liegen, da flüssige Luft in erhöhtem Maße ein Mittel zur Ausbreitung von Bränden darstellt. Tatsächlich hat sich dieses Bedenken als begründet erwiesen. Ein wichtiger Schritt wurde damit getan, als man ein Mittel fand, diese Gefahr wenigstens bei kriegerischer Einwirkung sogut wie gänzlich zu beseitigen. Die wesentlichste Gefahr bestand darin, daß ein Brandgeschoß den Vorratsbehälter treffen konnte. Durch Versuche zeigte sich nun, daß bei Beschießung von Gefäßen, gleichgültig ob mit Brand- oder gewöhnlicher Munition, jedesmal eine heftige Explosion auftrat, die jedoch an sich noch keine Feuerwirkung hervorbrachte, sondern eher mit einer Dampfkesselexplosion zu vergleichen war. Durch besondere Ausgestaltung des Vorratsbehälters glückte es nun dem Verfasser, einer solchen Explosion einen vorgeschriebenen Verlauf zu geben. Dies wurde dadurch erreicht, daß die den Behälter nach unten abschließenden Metallkappen nur leicht an den Hauptbehälter angelötet sind und außerdem bei der Explosion durch einen im Boden des Flugzeugs befindlichen Schacht ohne Behinderung herausgeschleudert werden können. Das Gefäß selbst wird am Rumpf des Flugzeugs befestigt, so daß eine Reaktionswirkung nach oben nicht stattfinden kann. Bei Beschuß ist somit der einzige Effekt der, daß die Behälterböden losgerissen werden und durch den Schacht nach unten fliegen. Dadurch wird die flüssige Luft fast momentan herausgeworfen und kann im Flugzeug evtl. entstandene Brände nicht weiter unterstützen. Derartige Versuche sind mehrfach ausgeführt worden; sie verliefen durchweg in der erwarteten Weise. Wird eine Explosion nicht durch feindliche Einwirkung, sondern durch andere Ursachen hervorgerufen, so wird sie ebenfalls in gleicher Art vor sich gehen.

Eine weitere Gefahr liegt in der Brandwirkung des oben erwähnten Mischbeutels. Es gelang jedoch, Materialien zu finden, die so gut wie unverbrennlich sind; insbesondere eignet sich dünnes Leder. Im übrigen ist diese Gefahr nicht zu überschätzen, da die im Beutel vorhandenen Mengen Sauerstoff unbeträchtlich sind und infolge des im Fluge herrschenden Luftzuges kaum erheblich zur Wirkung kommen dürften. Ganz anders liegt der Fall bei Sauerstoffbomben, bei denen es sich um ungleich größere Mengen Sauerstoff handelt. Alles in allem kann der Schluß gezogen werden, daß das Atemgerät mit Tropfluft das weitaus weniger feuergefährliche ist.

ζ. Zuführung der Luft.

Es sind noch einige Worte über die Art und Weise zu sagen, wie der Sauerstoff dem Insassen am zweckmäßigsten zugeführt wird. Die Verwendung von hermetischen Taucherhelmen verbietet sich von selbst. Wie wir auch schon oben erwähnten, wäre es gar nicht möglich, dem Insassen ein Gas unter einem höheren Druck zuzuführen, wenn nicht der ganze Körper unter diesem Druck steht. Man

beschränkt sich also auf die Erzielung eines zweckentsprechenden Partialdrucks. Die Luftzuführung erfolgt nicht streng hermetisch; im Gegenteil hat es sich sogar als vorteilhaft erwiesen, wenn die Zuführungskammer eine Nebenöffnung besitzt. Es tritt dadurch ein Druckausgleich ein, der etwa auftretende Schwankungen nicht empfinden läßt. Gleichzeitig wird der vom Gerät gelieferte Sauerstoff, der in dieser Form nicht sonderlich zuträglich ist, etwas mit Stickstoff verdünnt, und zwar gerade dann um so mehr, wenn besonders tiefe Atemzüge getan werden, in welchem Falle reiner Sauerstoff geradezu einen Momentanrausch bis zur Bewußtlosigkeit hervorrufen kann. Ferner nimmt es dem Flieger das Gefühl des Erstickens, das bei hermetischem Abschluß leicht auftritt. Damit gestaltet sich die Formgebung der Atemmaske einfach. Die früher gebräuchlichen Muster bestehen aus Cellon,

Abb. 340. Atemmaske (Dr. Kuhn).

Abb. 341. Atemschlauch mit Mundstück.

Holz oder anderen Stoffen und sollen nur die Nase bedecken (Abb. 340). Sie enthalten außer der erwähnten Nebenöffnung noch ein selbsttätiges, sehr leicht bewegliches Ventil, das der ausgeatmeten Luft einen Ausweg gestattet. Je größer diese Kappe ist, desto größer wird auch der sog. schädliche Raum, in dem sich ein- und ausgeatmete Luft mischen. Die Kappe ist deshalb so klein wie möglich auszuführen. Von dieser Form ist man jedoch mit der Zeit wieder abgekommen, als man erkannte, daß die Atmung in verdünnter Luft vorzugsweise durch den Mund geschieht. Man bedient sich heute fast ausschließlich eines Mundstücks aus wärmeisolierendem Material, das man nach Art einer Tabakspfeife benutzt. Die notwendige Nebenluft tritt dann in einfachster Weise durch die Nase ein.

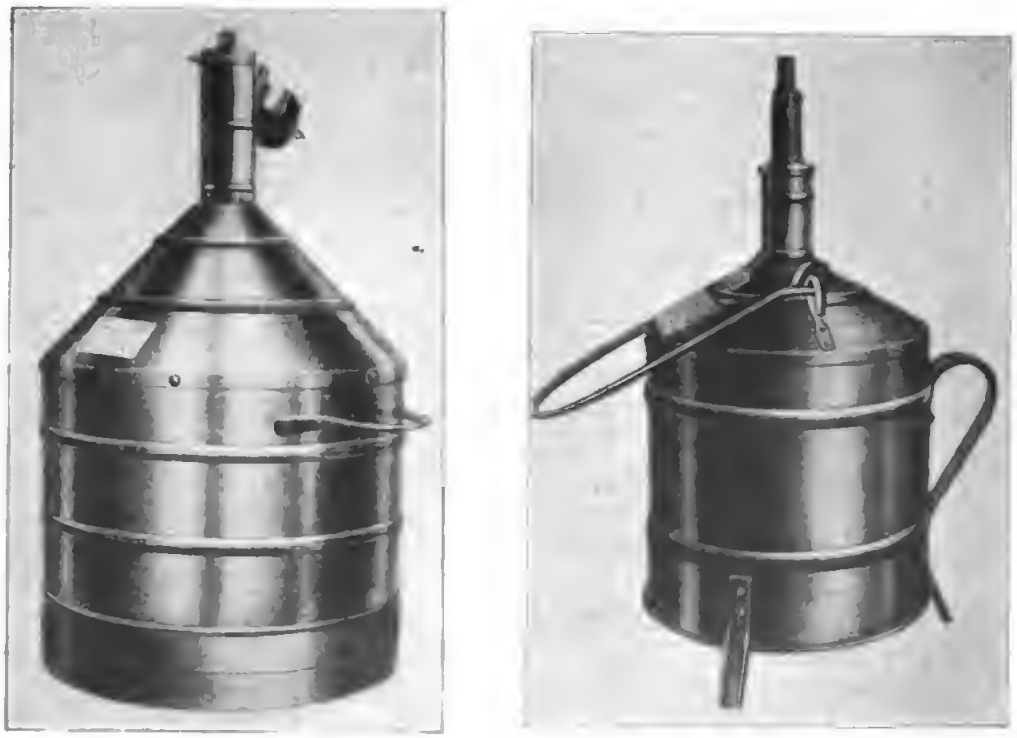
Um die Mundgegend vor kaltem Luftzuge zu schützen, hat man an dem Mundstück weiterhin einen kleinen Windschutz in Form einer Scheibe angebracht. Damit der Gebraucher möglichst wenig belästigt wird, ist die Verbindung vom Mundstück zum Atemgerät durch einen leichten und gut biegsamen Schlauch von

entsprechender Länge hergestellt, der auch ein Auseinandernehmen gestattet (Abb. 341). Besonders haben sich für diesen Zweck Papierschläuche bewährt; auch gute Gummischläuche kommen in Betracht. Regeneratgummi oder ähnliche Ersatzmittel jedoch besitzen im allgemeinen einen üblen Geruch, der die Benutzung des Geräts zur Qual macht. Im Zusammenhang hiermit sei noch erwähnt, daß auch die Herstellung der flüssigen Luft besondere Maßregeln bezüglich ihrer Reinheit erfordert. Bei der Fabrikation gelangen leicht Schmieröle oder dergleichen in das Kondensat, die sich beim Verdampfen durch ihren unangenehmen Geruch bemerkbar machen. Da es sich bei dem Atemgerät um ein hygienisches Instrument handelt, darf natürlich nicht an der einen Stelle verdorben werden, was an der anderen gut gemacht wird.

c) Zubehör zum Atemgerät.

α. Transportgefäße.

Um den Transport flüssiger Luft zu erleichtern, sind besondere Gefäße hergestellt worden. Die im Kleinhandel üblichen Vakuumgefäße aus Glas oder Porzellan (Dewar) sind für Bahntransporte nicht geeignet; an ihre Stelle treten doppelwandige Metallgefäße (Abb. 342). Als Material kommt ausschließlich Messing in Frage; einmal ermöglicht es eine leichte Bearbeitung; dann aber ist es weniger porös als andere Metalle. Ebenso wie bei den Atemapparaten selbst sind die beiden



Inhalt 25 Liter. Inhalt 15 Liter.

Abb. 342. Transportgefäße für flüssige Luft (Ahrendt & Heylandt).

ineinander befindlichen Flaschen nur am Halse miteinander verbunden. Diese Stelle hat also das ganze Gewicht des Inhalts zu tragen und muß dementsprechend kräftig ausgeführt sein.

Es hat sich nun gezeigt, daß trotz der größeren Wärmeleitfähigkeit des Metalls die Verdunstungsziffer günstiger ist als bei Porzellangefäßen. Während letztere bei einer Kapazität von 5 Litern etwa 1,36 % pro Stunde verdampfen, beträgt die Abnahme bei einem gleichgroßen Messinggefäß nur 0,5—1 %. Für Friedensware wurde festgestellt:

Inhalt	Verdunstung pro Stunde
5 Liter	0,5 % = 30 g
10 „	0,45 % = 50 g
15 „	0,36 % = 60 g
25 „	0,21 % = 60 g

Daraus ersieht man, daß die Rentabilität mit zunehmender Größe wächst. Für Standgefäße[1]) wird man also 50 und mehr Liter bevorzugen; für den Transport sind sie jedoch nicht geeignet, weil sie aus den oben erwähnten Festigkeitsgründen Kippungen nicht vertragen. Die obere Grenze für transportable Flaschen ist 25 Liter, die gebräuchlichste Größe 15 Liter.

Das Vakuum wird durch eine zwischen den Wänden angebrachte Absorptionsmasse (Kohle) automatisch verbessert, sobald flüssige Luft eingefüllt wird; eine solche Masse ist auch bei den Atemgeräten selber vorgesehen. Die Verwendung solcher absorbierenden Kohle hat jedoch auch ihre Schattenseite; bei österreichischen Transportgefäßen dieser Art sind mehrmals Explosionen eingetreten. Versuche Loth. Wöhlers (Zeitschr. für kompr. und flüss. Gase 20, 109—112, 121—124, 133—137 (1919)) haben die Ursachen klargelegt. Undichtigkeiten der inneren Gefäßwand lassen Sauerstoff in den Hohlraum eintreten, der von der gekühlten Kohle energisch absorbiert wird, die sich dabei erhitzt. Diese Wärme allein reicht jedoch im allgemeinen noch nicht zu einer Entzündung des Kohle-Sauerstoff-Gemisches aus; ist jedoch die Kohle durch Eisenoxyd verunreinigt, so spielt dieses die Rolle eines Katalysators und es sind die Bedingungen für eine Explosion gegeben. Der Vorgang ist also völlig analog der Entzündung eines Sauerstoff-Leuchtgas-Gemisches in Gegenwart von Platinschwamm. Für die Praxis ergibt sich somit die Folgerung, nur reinste Kohle zu verwenden oder auf die Absorption völlig zu verzichten, was jedoch die Güte der Gefäße nicht unbeträchtlich herabsetzt. Vielleicht ließe sich auch die Dichtigkeit der Wände durch galvanische Überzüge verbessern.

β. Überfüllgerät.

Das Überfüllen der Luft wird bei Standgefäßen mit einem doppelwandigen Druckheber oder mit der in Abb. 343 und 344 dargestellten Umfüllvorrichtung besorgt. Kleinere Transportgefäße erlauben auch ein direktes Ausgießen, im Gegensatz zu Glasgefäßen.

[1]) d. h. solche, die stationär, auch z. B. in Eisenbahnwaggons, aufgestellt sind.

Abb. 343.
Umfüllvorrichtung für flüssige Luft.

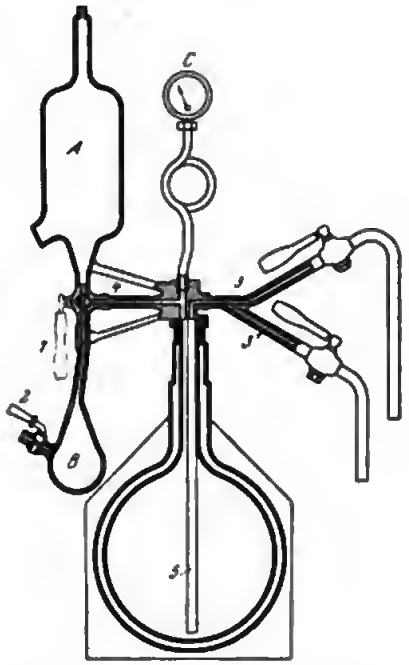


Abb. 344.
Schema der Umfüllvorrichtung.

γ. Fahrbare Verflüssigungsanlagen.

Zur weiteren Erleichterung der Beschaffung von flüssiger Luft sind auch fahrbare Verflüssigungsanlagen in Gebrauch genommen, von denen Abb. 345 und 346 Skizzen geben. Solche Einbauten sind sowohl in Kraftwagen als auch in Eisenbahnwagen ausgeführt worden. Der Kraftantrieb erfolgt im allgemeinen elektrisch.

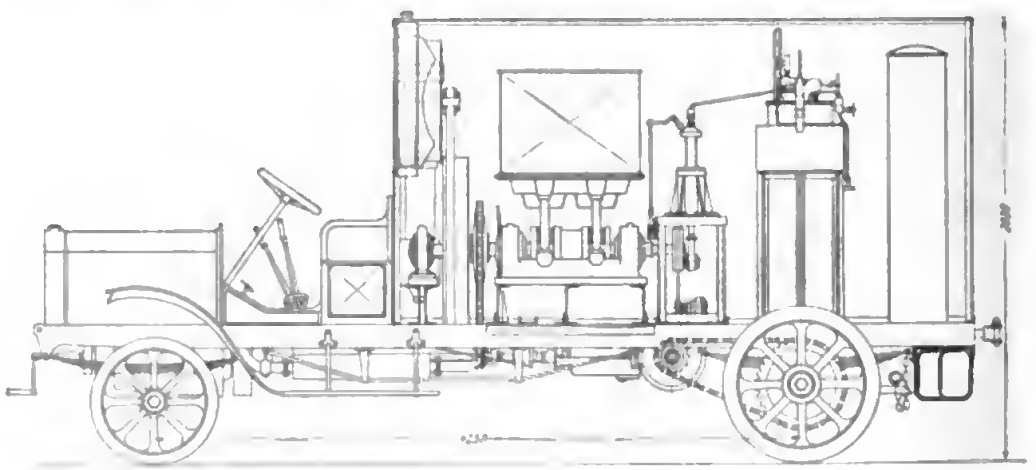


Abb. 345. Luftverflüssigungsanlage auf Kraftwagen (Ahrendt & Heylandt).

Digitized by Google

Eine Anordnung zur Kontrolle und Eichung von Atemgeräten ist aus Abb. 347 ersichtlich. Die ganze Apparatur befindet sich in einer pneumatischen Kammer. Eine Erläuterung dürfte sich erübrigen.

Weitere Literatur:
W. Geißler; Prometheus 30 Beibl. 146—147 (1919).

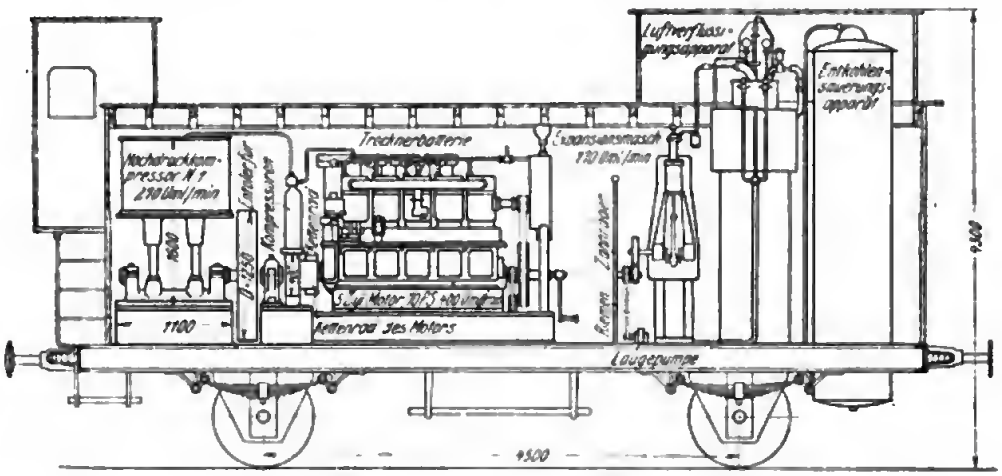


Abb. 346. Luftverflüssigungsanlage im Eisenbahnwaggon (Ahrendt & Heylandt).

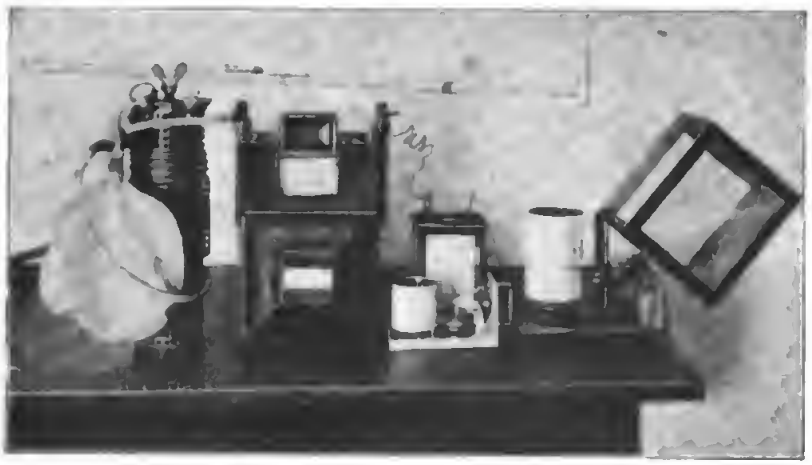


Abb. 347. Eichung von Atemgeräten in der pneumatischen Kammer (Gasuhr, Höhenschreiber, Chronograph).

B. Heizgerät.

Der Flug in großen Höhen, aber auch schon der normale Flug im Winter hat das Bedürfnis nach einer geeigneten Heizvorrichtung wachgerufen. Solange es sich wie bei den Kriegsflugzeugen um offene Rümpfe handelte, kam in erster Linie die Beheizung der Kleidungsstücke in Frage, weiter diejenige bestimmter Flugzeugteile, mit denen der Insasse in Berührung kommt, endlich die der Instrumente

selber. Die neuere Entwicklung des Flugzeugbaues zeigt das Bestreben, den offenen Rumpf durch geschlossene Kabinen zu ersetzen; demgemäß fällt die Heizung einzelner Teile fort und es entsteht die neue, zur Zeit noch nicht völlig gelöste Aufgabe der Beheizung des Innenraumes.

1. Einzelheizung.

a) Energiequellen.

Als Energie kommt ausschließlich der elektrische Strom in Frage Für Flugzeuge, die mit F.-T.-Betrieb versehen sind, wird die Heizanlage an den F.-T.-

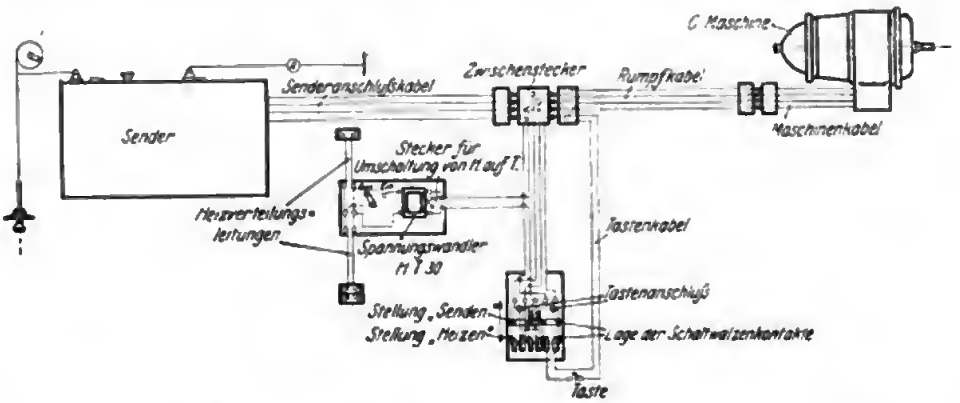


Abb. 348. Schaltskizze des F. T.-Generators für Heizzwecke.

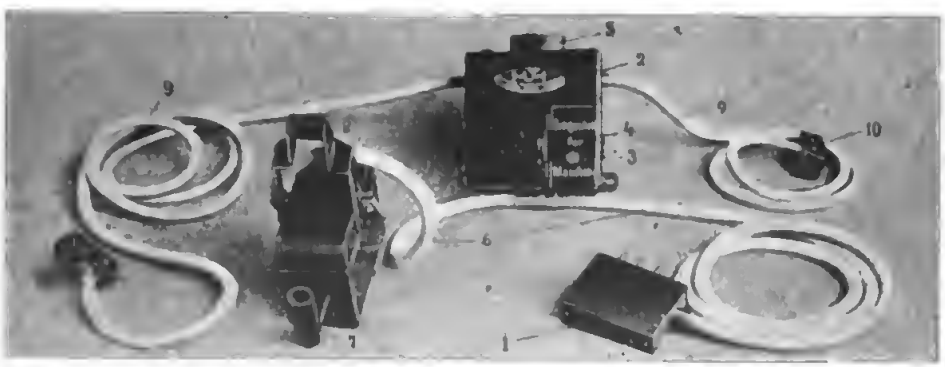


Abb. 349. Heizleitung in Verbindung mit F. T.-Taster.

Generator angeschlossen, und zwar wird die zum Betrieb des Senders erforderliche hohe Wechselstromspannung in einem Spannungswandler auf 50 Volt herabgesetzt (siehe Schaltungsskizze Abb. 348). Die Leistung des Generators genügt nicht, um die zur Heizung und zum F.-T.-Betrieb erforderliche Energie gleichzeitig zu liefern; deshalb ist an der Taste des Senders ein Umschalter vorgesehen, der die Heizung während des Sendens selbsttätig unterbricht. Da verschiedene Generatoren im Gebrauch sind (Telefunken, Huth), müssen die benutzten Aggregate diesen jedesmal angepaßt werden; bei den gebräuchlichen Typen geschieht dies durch Verwen-

dung eines besonderen Schalters. Die Heizleitungen enden in Steckbuchsen, die im Rumpfe an geeigneten Stellen untergebracht werden (Abb. 349).

Flugzeuge, die nicht für den F.-T.-Betrieb eingerichtet sind, müssen mit einer Wechsel- oder Gleichstrommaschine versehen werden. Um die Zahl der Typen nicht unnötig zu vergrößern, verwendet man allgemein F.-T.-Generatoren, deren Größe sich nach den Heizzwecken richtet. So genügt für Einsitzer bereits die leichte Gleichstrommaschine, die bei 50 Volt 200 Watt liefert. (Näheres über diese Generatoren findet man in dem Bande „Funkentelegraphie" dieser Sammlung.) Auch die Vereinigung von Wechselstrom- und Gleichstromheizgerät wurde durchgeführt.

b) Heizbekleidung.

Die den Heizkörper der Bekleidungsgegenstände bildenden Widerstandsdrähte sind in das Futter eingenäht und enden in Steckern. Um den Flieger möglichst

Abb. 350. Heizhandschuhe.

wenig zu behindern, werden die Heizdrähte aller Kleidungsstücke untereinander verbunden, so daß nur eine einzige Zuleitung notwendig ist. Zu beheizende Teile sind Handschuhe, Stiefel und Maske (Abb. 350 und 351). Der Energieverbrauch stellt sich bei einer normalen Spannung von 50 Volt folgendermaßen:

1 Paar Handschuhe	50	Watt
1 Maske	25	„
1 Paar Stiefel	60	„

Natürlich sind diese Zahlenangaben darauf berechnet, daß die eigentliche Heizbekleidung noch durch Pelzwerk äußerlich gegen Wärmeabgabe geschützt ist. Dadurch wird gleichzeitig vermieden, daß die Heizdrähte der Stiefel vor und nach dem Fluge mit dem feuchten Erdboden in Berührung kommen, wodurch die Isolation leicht zerstört würde.

Abb. 351. Heizstiefel.

c) Maschinengewehrheizung.

Die Maschinengewehrheizung dient dazu, die Schloßteile des Maschinengewehrs zu erwärmen, damit nicht Ladehemmungen durch Erhärten des Öls eintreten.

Sie besteht aus einem Heizkörper (Abb. 352) mit Schutzgehäuse und Glimmerplatten, die die Isolierung bewirken. Auf Einzelheiten kann hier nicht eingegangen

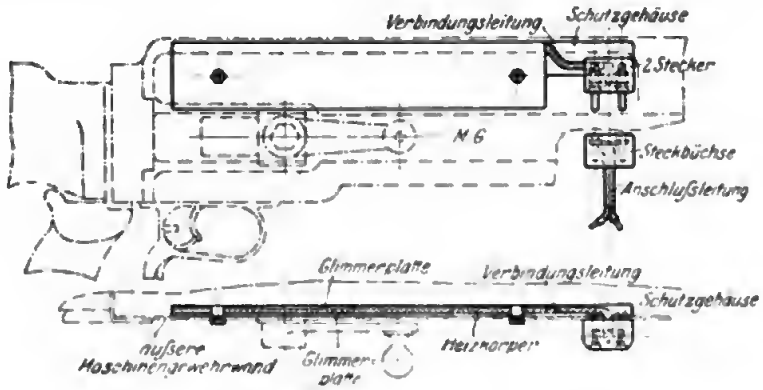


Abb. 352. Maschinengewehrheizung.

werden, da das Maschinengewehr nicht zu den hier behandelten Instrumenten gehört. Es möge die Angabe genügen, daß man einen Energieverbrauch von 30 Watt anzusetzen hat.

d) Beheizung einzelner Instrumente.

Bereits in früheren Kapiteln ist verschiedentlich auf den Nutzen einer Heizung hingewiesen worden, insbesondere bei Kompassen und solchen Instrumenten, die Flüssigkeiten enthalten; ferner beim Atemgerät. Da es sich häufig um geringe Energien handelt, könnte eine derartige Heizung bereits durch Akkumulatoren

(4 oder 12 Volt) bewerkstelligt werden. Als Heizkörper können geeignete Glühlampen oder in Röhren eingeschlossene Widerstandsdrähte dienen. Besitzt das Flugzeug eine Hochspannungsanlage (F. T.), so kann natürlich auch diese verwendet werden; die Spannung wird durch einen Wandler auf 50 Volt herabgesetzt; trotzdem sind erheblich größere Vorsichtsmaßregeln in der Isolation und Verlegung der Drähte erforderlich. Beim Kompaß ist weiter darauf zu achten, daß die Stromzuführung keine magnetischen Störungen hervorruft. Am geeignetsten dürfte die Hochspannungsheizung beim Atemgerät sein, worüber erfolgreiche Versuche noch nicht angestellt wurden.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Beheizung einzelner Geräte auf ein Mindestmaß beschränkt werden soll, da eine weitläufige Verteilung des Leitungsnetzes die Gefahr des Kurzschlusses oder sonstiger Störungen erheblich vergrößert.

2. Zentralheizung.

Der zuletzt erwähnte Übelstand wird am besten dadurch vermieden, daß man alle temperaturempfindlichen Bestandteile in der sich neuerdings einführenden Kabine vereinigt. Damit verschiebt sich das Problem der Heizung nach einer anderen Richtung.

Es muß wohl als ausgeschlossen gelten, daß man eine zentrale Heizung der Kabine noch durch Generatorenstrom ausführen kann. Das Flugzeug besitzt aber in seinen Abgasen eine Wärmequelle, die weitaus geeigneter erscheint und zum mindesten viel unabhängiger von Störungen arbeitet. Gleichwohl ist das Problem noch keineswegs gelöst; letzten Endes kommt es auf eine geeignete Ausgestaltung des Auspuffrohres hinaus. Wie das im einzelnen zu geschehen hat, kann hier nicht untersucht werden, da Fragen der Leistungsverminderung des Motors hineinspielen; es sei auf den diesbezüglichen Band dieser Sammlung hingewiesen. Wir wollen hier lediglich die Forderungen betonen, die man im Interesse des Insassen und des Instrumentariums zu stellen hat. In erster Linie darf die Beheizung kein Moment der Feuersgefahr aufweisen. Die Heizkörper sollen also nicht große Wärmemengen auf kleinem Raume vereinigen, sondern große Flächen mäßiger Temperatur besitzen, ohne jedoch das Gewicht ungünstig zu beeinflussen. Weiterhin muß die Führung etwaiger Heizrohre so erfolgen, daß die für die Unterbringung der Instrumente benötigten Wandflächen nicht unnötig viel Wärme abbekommen; der gegebene Ort ist also wohl der Flugzeugboden. Endlich muß für eine Regulierung der Heizung gesorgt werden, wozu sich eine Ventilierung der Kabine gesellt.

Man könnte noch daran denken, den Kühler zu Heizzwecken zu verwenden; jedoch ist dabei folgendes zu berücksichtigen: Verwendet man das Kühlwasser in gedachtem Sinne, so wird es selber nicht die zum Betrieb des Motors nötige tiefe Eintrittstemperatur erhalten; die Außenkühlung fällt also unter keinen Umständen ganz fort. Die Wärmeabgabe erfolgt somit auf einem sehr viel längeren Wege; das besagt aber, daß der Wasserballast viel größer wird. Also auch hier harren noch manche Aufgaben ihrer Bewältigung.

Digitized by Google

C. Verständigungsgerät.

Da die Verständigung zwischen mehreren Personen im Fluge recht erschwert ist, war die Nachfrage nach einem diesbezüglichen Gerät schon früh aufgetaucht. Allem Anschein nach lag hier keine Schwierigkeit vor; und trotzdem ist bis zum heutigen Tage noch keine voll befriedigende Lösung für ein Verständigungsgerät gefunden worden; der Flieger verzichtet aber lieber auf eine ausgiebigere Verständigung, als daß er sich durch einen umfangreichen Sprech- und Hörmechanismus an der freien Bewegung behindern läßt. Will man hier systematisch vorgehen, so wird man sich zuerst die Frage vorlegen müssen, welche Sinnesorgane zur Verständigung besonders geeignet sind. In Frage kommen Gehör, Gefühl und Gesicht.

1. Akustische Verständigungsmittel.

Das nächstliegende ist natürlich das Ohr, das im Flugzeug ja auch weiter keine Funktionen zu verrichten hat, es sei denn eine mehr oder weniger unbewußte Überwachung des Motorgeräusches. Aber gerade dieser letztere Umstand verbietet es, daß sich der Führer gänzlich gegen äußere Geräusche, etwa mit Hilfe einer idealsitzenden Telephonmuschel, abschließen darf. Jedem Flieger ist das unangenehme Gefühl bekannt, das eintritt, wenn im Gleitfluge durch Luftdruckänderungen zeitliche Gehörstörungen auftreten. Die auf fälschliche Gehörseindrücke zurückzuführende Empfindung, der Flug verlangsame sich, veranlaßt manchen Piloten, im Gleitfluge eine übertriebene Geschwindigkeit zu entwickeln. Kurz, es ist nicht angängig, den Gehörsinn gänzlich auszuschalten.

a) Hörschläuche.

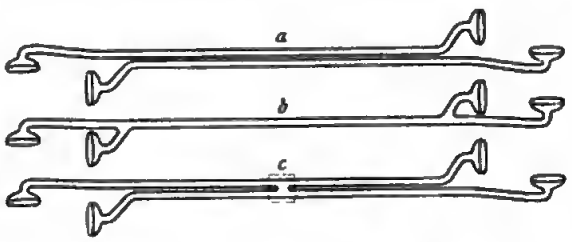
Wie Erfahrungen gelehrt haben, kann man schon durch nur lose aufliegende Hörer, die durch zweckentsprechende Schläuche mit einem ähnlich gestalteten

Abb. 353. Hörschläuche aus übersponnenem Metall.

Sprachtrichter verbunden sind, eine gute Verständigung erzielen, ohne das Gehör völlig abzuschließen, vorausgesetzt, daß die Schläuche nicht zu eng sind. Weite Schläuche sind aber wiederum schwer und unhandlich, so daß sich schließlich die ganze Angelegenheit auf eine Materialfrage zugespitzt hat. Man hat schließlich zwei Lösungen gefunden, einerseits sehr leichte Metallschläuche, die man der Kältewirkung wegen noch überspinnen kann; andererseits Papierschläuche, wie sie seit kurzem im Handel sind. Die in Abb. 353 dargestellten übersponnenen Metall-

schläuche sind reichlich eng; weitere geben bessere Resultate. Um die Unbequemlichkeit des dauernden Verbundenseins zu umgehen, kann man die Leitungen durch Stecker unterbrechen, an die man sich bei Bedarf anschließt.

Da nun bei einer Verständigung die Wechselseitigkeit erstrebenswert ist, so müssen beide Stationen sowohl Hörer wie Sprecher haben. Man verwandte infolgedessen anfangs zwei getrennte Leitungen (Abb. 354a). Hierbei stellte sich die eigentümliche Erscheinung heraus, daß der Sprecher sich über die Lautstärke seiner Mitteilungen absolut kein Bild machen konnte, so daß er entweder flüsterte oder sich überschrie. Beides beeinträchtigt die Verständigung; man kam infolgedessen darauf, beide Leitungen zu vereinigen, und zwar zuerst derart (Abb. 354b), daß die Hör- und Sprechvorrichtung einer Station direkt als ein Raum ausgebildet wurde, von dem aus sich der eigentliche Schlauch abzweigte. Da hierbei aber die Schallwelle bis zum Ohr des Sprechenden einen viel kürzeren Weg durchläuft, als bis zum Ohr des Empfängers, ist wiederum die Lautstärke nicht kontrollierbar. Diesen Fehler beseitigte man schließlich dadurch (Abb. 354c), daß man wiederum zu der Doppelleitung überging, aber nunmehr ein Verbindungsstück in die Mitte der Schlauchleitungen legte. Hierdurch werden die Sprechwege gleich lang und die so erzielte Verständigung ist vollkommen einwandfrei.



a getrennt, *b* vereinigt, *c* kreuzverbunden.
Abb. 354. Sprachrohrschaltungen.

b) Telephone.

Der Gedanke, die immerhin unhandlichen Schlauchleitungen durch viel leichtere elektrische Drähte zu ersetzen, führte dazu, das Telephon im Flugzeug zu erproben. Auf Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, da dieses Kapitel im Bande „Funkentelegraphie" behandelt wird. Als Ergebnis wird bemerkt, daß sich die gehegten Erwartungen nur mäßig erfüllten. Schon das Bedürfnis nach einer Stromquelle, die nicht in allen Flugzeugen anzutreffen ist, sprach dagegen; dann aber reagierte das Mikrophon stark auf die Schwingungen des Motors.

2. Gefühlsmäßige Verständigungsmittel.

a) Summer.

Das menschliche Ohr ist nun nicht der einzige Teil des Körpers, der imstande ist, akustische Zeichen wahrzunehmen. Das ganze Knochensystem des Schädels ist dazu geeignet. Von diesem Gesichtspunkte aus versuchte man im Fliegerhelm an bestimmten Stellen der Schädeldecke eine Art elektrischen Summers unterzubringen (Oppermann). Die damit gemachten Versuche waren überraschend; entweder wurden die Zeichen, namentlich nach längeren Flügen oder wenn der Summer zu schwach wirkte, infolge des Motorgeräusches überhaupt nicht wahrgenommen,

oder aber es erfolgte bei stärkerem Summer jedesmal ein Erschrecken des Führers, aus dem schließlich eine Art Angst vor dem Gerät entstand. Solche psychischen Momente sind während des Fluges ungleich stärker als unter gewöhnlichen Verhältnissen. Das Instrument konnte sich infolgedessen keine Freunde erwerben.

b) Maultrommel.

Auch die Zähne sind ein ganz empfindlicher Empfangsapparat für Töne. Seitens einer Firma wurde der Vorschlag gemacht und durch Ausarbeitung eines Knebels in die Wirklichkeit umgesetzt, dem Flieger eine Art Maultrommel in den Mund zu geben. Abgesehen von hygienischen Einwänden wird man wohl keinem Erwachsenen zumuten können, solches Gebilde dauernd oder auch nur zeitweise herumzutragen; auch ist ein Kälteschutz nur schwer damit zu vereinigen.

c) Klopfgerät.

Mit diesen Instrumenten sind wir schon mehr auf das Gebiet des Gefühlssinnes als Mittel zur Verständigung hinübergekommen. Ein auf ähnlichem Prinzip beruhendes Klopfgerät, das im Sitze des Führers untergebracht ist, hat ebenfalls das Tageslicht nur in einem Versuchsflugzeuge erblickt und ist wieder entschlummert. Klopfzeichen durch Berührung der Schultern oder des Kopfes mit Hilfe der Hände sind das Universalsprechmittel der Fliegerschaft immer gewesen und bis heute geblieben, wenigstens soweit es sich um gewöhnliche Zweisitzermaschinen handelt.

3. Optische Verständigungsmittel.

Es hat sich in der Praxis gezeigt, daß der Flieger im allgemeinen mit einer ganz geringen Anzahl von Mitteilungen auskommt: Steigen, gleiten, rechts, links und einiges wenige mehr genügt für die meisten Fälle. Um solche Befehle in möglichst eindeutiger Weise zu übermitteln, hat man namentlich für größere Flugzeuge sog. Befehlsübermittler eingeführt. Ihr Vorbild ist seit geraumer Zeit bei der Marine in Gebrauch. Es wendet sich an das Auge als Empfänger, das schon durch zahlreiche Aufgaben in Anspruch genommen ist. Darin liegt denn auch der Nachteil dieses Systems.

a) Befehlsübermittler.

Befehlsübermittler sind in verschiedenen Formen ausgeführt. Zwei Scheiben mit gleichlautenden Aufschriften werden mit Hilfe von Schnurübertragung synchron gedreht, eine Vorrichtung, die auf Schiffen üblich ist. Diese Lösung ist im Flugzeug wegen des nicht ganz einfachen Einbaues unzweckmäßig und nicht sehr zuverlässig. Eine etwas durchgebildetere Form dieser Idee liegt dem Befehlsübermittler von Siemens & Halske (Abb. 355) zugrunde. Die Übertragung erfolgt durch Bowdenzüge. Man versuchte auch eine Übertragung durch Stäbe, die sich in Röhren verschieben oder drehen lassen; doch passen sie sich der Form des Flugzeugs nur schlecht an. Man ging dann, als man über Batterien verfügte, dazu über, elektrische Lämpchen in verschiedenen Formen und mit besonderen Aufschriften vermittels Druckknöpfen aufleuchten zu lassen. Dieses sehr einfache Verfahren

ist vielfach angewendet worden, z. B. in der Form Abb. 356, und fand allgemein dort Billigung, wo überhaupt das Bedürfnis für eine Verständigung vorhanden war. Für C-Maschinen wurde es so weit vereinfacht, daß jede Station lediglich einen

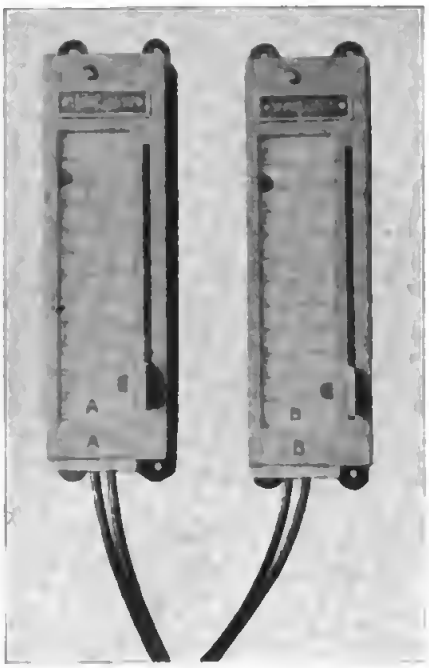


Abb. 355. Befehlsübermittler (Siemens & Halske).

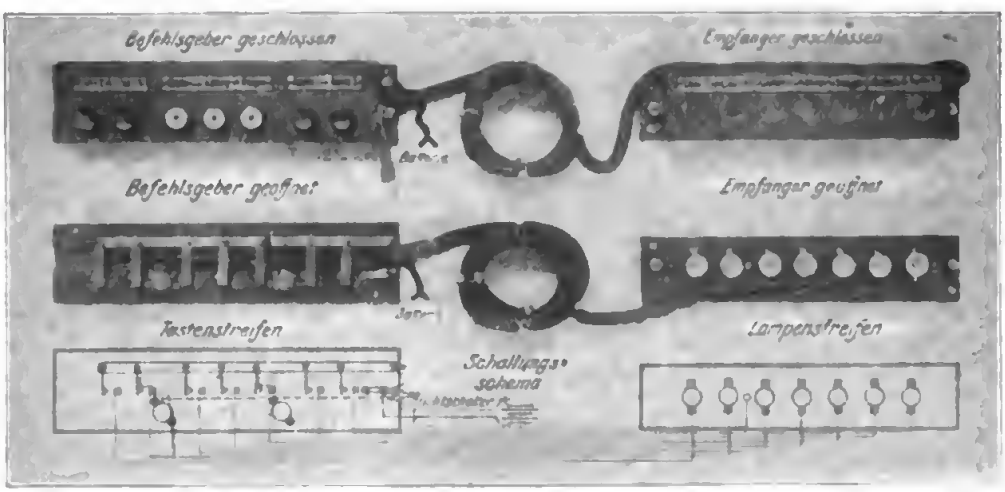


Abb. 356. Befehlsübermittler mit Lämpchen.

Druckknopf und eine Lampe erhielt, die für einen einfachen Hin- und Rückruf ausreichen. Das Zeichen ist in diesem Falle das Signal: „Achtung". Die weitere Verständigung erfolgt dann meistens in primitiver Art durch Berühren oder Sprechen.

Man kann die Lampen auch zum Morsen benutzen; es hat sich aber herausgestellt, daß der Führer nur schwer zur Benutzung von Morsezeichen zu bewegen ist, und die Erfahrung ergab, daß recht häufig Zeichen verwechselt wurden — wiederum ein Kapitel für die Psyche des Fliegers.

b) Maschinentelegraph.

Im Riesenflugzeug hat sich nun das Lämpchensystem zum sog. Maschinentelegraphen (Abb. 357) ausgewachsen; statt einer Lampe sind 10—20 vorgesehen

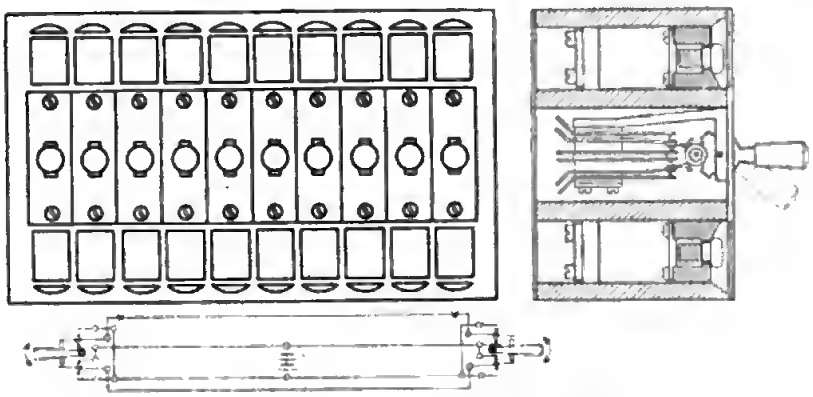


Abb. 357. Maschinentelegraph (Böker, Krüger & Co.).

in Anbetracht der gegenseitigen Unerreichbarkeit, der vielartigen Bedürfnisse und der Anzahl der Motoren. Hierbei wird Wert darauf gelegt, daß nicht nur von beiden Seiten Signale gegeben werden können, sondern daß auch in jedem Falle

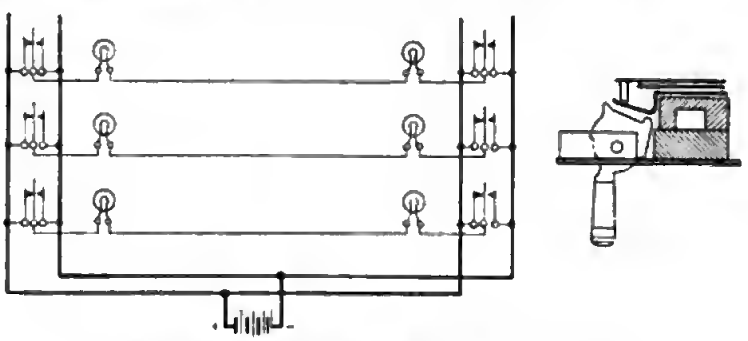


Abb. 358. Befehlsübermittler mit Gegenruf (Arnheim).

ein Rückruf möglich ist, der beweist, daß das Signal auch angekommen ist. Diese Aufgabe kann auf verschiedene Weise gelöst werden. Die am besten bewährte ist folgende (siehe hierzu die Schaltungsskizze der Abb. 357): Für jedes einzelne Signal besitzt Geber wie Empfänger je einen Schalter und ein Lämpchen. Bedient etwa A seinen Schalter, so leuchtet sowohl das Lämpchen von B wie das von A selber auf. Nunmehr gibt B durch Bedienung seines Schalters das Zeichen „Verstanden", wodurch beide Lämpchen verlöschen. Ist der Befehl ausgeführt, so legt B seinen

Schalter in die Normalstellung zurück, wodurch beide Lämpchen wieder zu leuchten beginnen. Der Befehlende A quittiert darüber, indem er seinen Hebel ebenfalls wieder zurückbewegt. Die Lämpchen verlöschen und der ursprüngliche Zustand ist wieder hergestellt. Dies Verfahren erscheint im ersten Moment reichlich verzwickt, hat sich aber in der Praxis ausgezeichnet bewährt. Es wird in einfacher Weise durch die bei Beleuchtungsanlagen übliche Gegenschaltung ermöglicht. Ähnlich ist die Einrichtung der Abb. 358.

c) Schriftübermittler.

Trotz der großen Anzahl der Befehlslämpchen letztgenannter Apparate reichen sie in manchen Fällen nicht aus, und es tritt das Bedürfnis immer wieder zutage, auch Unvorhergesehenes melden zu können. Da, wie oben erwähnt, Telephone so ziemlich versagt haben und Schlauchleitungen auch nur über eine gewisse Strecke brauchbar sind, versuchte man es mit einer eigenartigen optischen Vorrichtung, die darauf beruht, daß die Mitteilungen auf einer Mattscheibe niedergeschrieben und durch eine Lampe beleuchtet werden. Die Strahlen pflanzen sich nun durch ein optisches System und vermittels Prismen um Ecken herumgeführt in einer Röhre bis zum Empfänger fort, wo sie auf einer ähnlichen Scheibe ein gleiches Bild hervorrufen. So schön dieses Gerät erdacht war und auf dem Boden auch die Erwartungen erfüllte, so gänzlich versagte es, sobald das Instrument im Fluge benutzt werden sollte. Die unvermeidlichen Erschütterungen und Spannungen bringen eine derartige Verzerrung des Bildes hervor, daß es nicht mehr zu erkennen ist. Diese Versuchsanordnung ist nicht nur für Befehlsübermittlung von Bedeutung, sondern auch für all die Fälle, wo es sich darum handelt, Ablesungen auf weite Entfernungen im Flugzeug vorzunehmen; so könnte man an die Kompaßablesung denken; daß sie jedoch vorläufig noch nicht möglich ist, bewiesen obige Versuche.

4. Mechanische Verständigungsmittel.

a) Seilpost.

Da auf elektrischem und optischem Wege nichts zu erreichen war, versuchte man es mit mechanischen Mitteln. Das einfachste und nächstliegende war eine Art Seilpost, d. h. eine endlose Schnur, die um zwei Rollen läuft und einen geeigneten Behälter zur Aufnahme von schriftlichen Mitteilungen trägt. Diese Art der Ausführung war als Notbehelf gedacht, bewährte sich aber so gut, daß gelegentlich die Aufgabe gestellt wurde, sie zu verbessern und allgemein einzuführen. Die Arbeit, die sich daran anknüpfte, führte schließlich zur Schaffung einer der Rohrpost nachgebildeten Anlage.

b) Rohrpost.

In einem weiten Rohre werden Kapseln hin und her geblasen; die Antriebskraft erzeugt ein durch Kurbeldrehung betätigter Handventilator. Vorgesehen ist ein solcher nur in der Zentrale des Flugzeugs, von der aus mit verschiedenen Stellen verkehrt werden kann, die aber ihrerseits die Zentrale nicht direkt beschicken können, sondern sie lediglich durch Lichtzeichen zur Bedienung auffordern. Dieses

Digitized by Google

Gerät, das in einigen wenigen Exemplaren bei R-Flugzeugen eingeführt wurde, bedeutet das letzte, was auf dem Gebiet der Verständigung geschaffen wurde. Wenn man sich die Umständlichkeit der Handhabung und die Zeit, die bis zur Übermittlung vergeht, vergegenwärtigt, und andererseits bedenkt, daß gerade im Flugzeug häufig Sekunden ausschlaggebend sind, so ist nicht zu erwarten, daß sich dieses fast als Luxusartikel ausnehmende Gerät auf die Dauer halten kann.

D. Flugzeugspiegel.

1. Allgemeine Gesichtspunkte (Normalspiegel).

Die Sichtbehinderung im Flugzeug durch Rumpf und Tragflächen in Verbindung mit der erschwerten Bewegungsfreiheit der Insassen hat den Wunsch nach einer Ver-

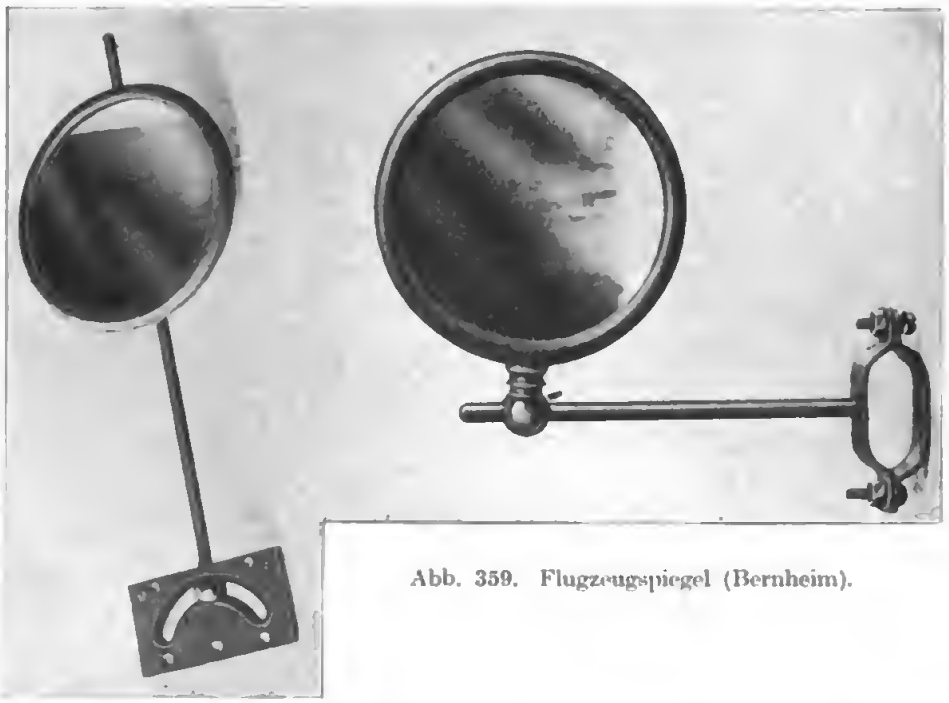


Abb. 359. Flugzeugspiegel (Bernheim).

größerung des Gesichtsfeldes wachgerufen. Die Bedürfnisse des Krieges insonderheit liefen darauf hinaus, dem an seinen Platz gebundenen Piloten eine Sicht nach hinten zu verschaffen. Zu diesem Zweck hat man an Streben oder anderen Teilen des Rumpfes Spiegel angebracht, für die sich folgende Gesichtspunkte ergaben:

1. Die Größe des Spiegels ist, um die Sicht nach vorn nicht zu behindern und zur Vermeidung unnötigen Luftwiderstandes beschränkt. Als noch zulässig erwiesen sich runde Scheiben von 15 bis 20 cm Durchmesser (Abb. 359).

2. Da das Gesichtsfeld eines derartigen Planspiegels nicht ausreicht, benutzt man vorteilhaft schwach gewölbte Flächen. Konkavspiegel sind dabei grundsätzlich zu vermeiden, da das betrachtete Objekt bei größerer Entfernung auf dem Kopfe stehend erscheint und unter gewissen Bedingungen überhaupt verschwindet. Allein

brauchbar sind Konvexspiegel mit einer Krümmung von mindestens 30 cm Radius. Der Nachteil gekrümmter Flächen liegt darin, daß die Entfernungsschätzung des Objekts fast unmöglich ist.

3. Als Spiegelmaterial hat sich der gewöhnliche Quecksilberspiegel gut bewährt; geschwärzte Spiegel sind zwar bei heller Beleuchtung angenehmer, versagen aber bei der Dämmerung und dann, wenn der Führer bereits eine gefärbte Brille trägt.

4. Der wichtigste Punkt ist die Befestigung (Abb. 360); bei Montage an den Streben entstehen häufig derartige Schwingungen, daß das Bild nicht mehr zu

Abb. 360. Montage von Flugzeugspiegeln.

erkennen ist. Zu vermeiden ist dieser Übelstand durch kurze, stabile Arme und Fixierung an mehreren Punkten.

5. Der nicht unbeträchtliche Luftwiderstand kann durch halbkugelige Verschalung der Rückseite wesentlich herabgesetzt werden, eine Form, die sich im Gebrauch vielfach bewährt hat.

6. Da das Gesichtsfeld auch gewölbter Spiegel nicht sehr umfassend ist, hat man weiterhin versucht, solche Spiegel drehbar zu machen (Firma Bernheim, Offenbach a. M.). Die nötige Übertragung wird dabei durch Hebel und Bowdenzüge bewerkstelligt. Zwei solcher Formen wurden erprobt; die erstere gestattet nur eine Drehung um eine Vertikalachse, die letztere ermöglicht gleichzeitig eine

Bewegung um die Horizontale, wozu naturgemäß entweder zwei getrennte Hebel oder besser ein räumlich wirkender Hebel zur Bedienung notwendig ist (letzteres Verfahren ähnelt der Knüppelsteuerung). Vorrichtungen dieser Art sind somit nicht ganz einfach und unter normalen Friedensverhältnissen überflüssig, können aber z. B. im Luftkampf von Bedeutung sein. Ein Nachteil verstellbarer Spiegel liegt in der schwierigen Beurteilung des jeweiligen Ortes eines betrachteten Objektes.

2. M.-G.-Spiegel.

Die kriegerischen Verhältnisse führten noch zu einer weiteren Abart, dem sog. Maschinengewehrspiegel (nach Angabe von P. Oppermann), der lediglich zum Zweck

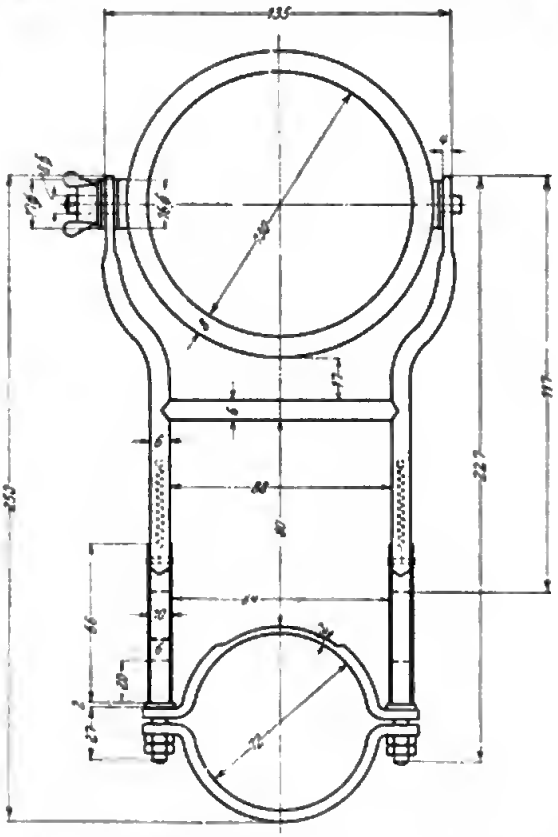


Abb. 361. Maschinengewehrspiegel nach Oppermann ((Bernheim).

des Luftkampfes geschaffen wurde (siehe Abb. 361). Durch eine Schelle am Maschinengewehrlauf dicht hinter dem Visier (Kimme) befestigt, wird er durch einen Bügel, getragen, in dem er sich horizontal drehen läßt. Der Bügel selber ist mit einem federnden Scharnier versehen, so daß er bei Nichtbenutzung einfach herunterzuklappen ist und alsdann die Beweglichkeit des Maschinengewehrs nicht hindert. Bei Benutzung ermöglicht der Spiegel dem in Anschlag befindlichen Beobachter unbehinderte Sicht nach hinten. Die Federung des Bügels muß so stark sein, daß der Staudruck ihn nicht umlegt. Praktische Erfahrungen damit sind nur bei Versuchen gemacht worden.

E. Vorrichtungen zur Unfallverhütung beim Anwerfen der Luftschraube (Startschutz).

Verschiedene Unfälle beim Durchdrehen der Luftschraube haben die Aufmerksamkeit auf Vorrichtungen gelenkt, die geeignet sind, solche zu verhindern. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Systeme: den aktiven Schutz, der darin besteht, daß der Durchdrehende selbst die Zündung mit Hilfe eines Stromschlüssels unterbricht; und den inaktiven Schutz derart, daß der Durchdrehende mit Hilfe optischer Signalgebung von der Einschaltung unterrichtet wird.

Die erstere Art hat sich bisher nicht eingeführt, und zwar aus der Erfahrung heraus, daß die Betätigung eines solchen Hilfsschalters in der Praxis meistens unterbleibt, andererseits aber für den Startenden leicht eine lästige Verzögerung eintritt.

Die zweite Art ist in Form eines „Startschutz" genannten Apparates bekannt geworden. Dieser überträgt die Stellung des Zündschalters mit Hilfe eines Bowdenzuges auf eine Farbenscheibe (weiß = aus, rot = ein), die vorn am Gehäuse des Motors untergebracht ist. Dies Gerät vermag zwar die mündliche Übermittlung zu ersetzen, besitzt aber den Nachteil, die sehr heikle Funktion des Zündschalters zu gefährden, da z. B. ein Klemmen des Bowdenzuges seine Bedienung behindern kann. Ein solches Gerät kann nur dann wirklichen Vorteil bieten, wenn es vollkommen zuverlässig arbeitet. Da das mit den angegebenen Mitteln bisher nicht erreicht wurde, hat man von der Einführung Abstand genommen.

Zusammenfassend ergibt sich, daß ein geeignetes Mittel für den genannten Zweck bislang noch nicht gefunden wurde.

F. Brillen und Ferngläser.

1. Brillen.

Unter den persönlichen Ausrüstungsgegenständen des Fliegers nimmt die Brille den ersten Platz ein. Ihre ursprüngliche Form ging aus der Automobilbrille hervor; die Anforderungen, die an sie gestellt werden müssen, sind jedoch wesentlich höhere, da sie nicht nur gegen Wind, sondern auch gegen Kälte und Blendung schützen soll. Daraus ergeben sich eine Reihe von Aufgaben.

a) Das Gesichtsfeld soll so groß wie möglich sein. Da der Flugzeugführer an seinen Platz gefesselt ist, muß ihm die Möglichkeit eines seitlichen Blickes gegeben sein, ohne daß er den Kopf zu wenden braucht. Dies wird dadurch erreicht, daß an Stelle planer Gläser (Abb. 362c und e und 363) entweder gewölbte *a* und *b*, oder gebrochene Gläser *d* verwendet werden. Die Form a ist ziemlich zerbrechlich und infolgedessen trotz des guten Gesichtsfeldes nicht sehr geeignet, zumal sie sich auch verschiedenen Gesichtsformen schlecht anschmiegt. Demgegenüber haben sich die Formen b, f und g besser bewährt; sie sind infolge ihrer Formgebung etwas kostspieliger.

b) Der Sitz soll so beschaffen sein, daß er absoluten Schutz gegen Luftzug gewährt. Die Abdichtung erfolgt am besten durch Plüschstreifen. Zur Anpassung an die Gesichtsform ist in diesen Plüschstreifen ein Draht eingearbeitet, der sich

je nach Bedarf biegen läßt. Der seitliche Schutz ist aus Stoff oder Leder hergestellt. Die Befestigung erfolgt durch kräftige Gummizüge, die mit Haken versehen und

Abb. 362. Fliegerbrillen.

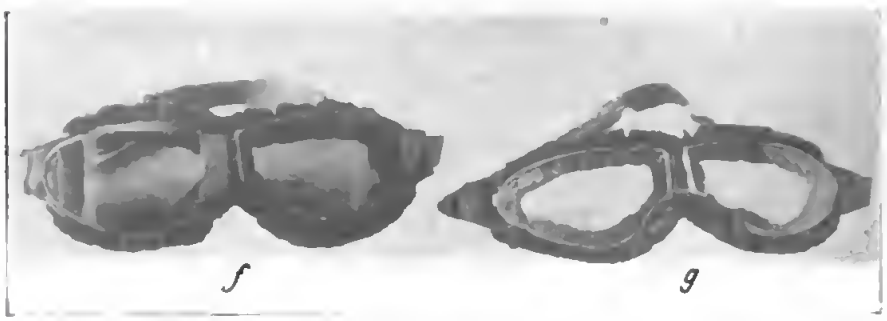


Abb. 363. Fliegerbrillen.

verstellbar sind; an Stelle dieser sind auch umsponnene Spiralfedern in Gebrauch, bei denen die Haken fehlen können.

c) Schutz gegen Beschlagen. Da die Brillen möglichst luftdicht schließen

sollen, beschlagen sie bei Kälte leicht. Bis zu einem gewissen Grade läßt es sich dadurch vermeiden, daß man poröse Stoffe verwendet oder seitliche Öffnungen anbringt. In beiden Fällen wird das Beschlagen, namentlich sobald die Luftschraube läuft, zwar verhindert, doch kann der Luftzug an den Augen äußerst lästig werden. Es lag auf der Hand, Versuche mit sog. Klarscheiben, wie sie sich bei Gasmasken bewährt hatten, anzustellen. Das sind Gelatinefolien, die in die Brille eingelegt werden; sie haben die Eigenschaft, durch Feuchtigkeit aufzuquellen, ohne sich wesentlich zu trüben. Leider führten die Versuche nicht zu dem erwarteten Resultat, und zwar aus folgenden Gründen: Einmal ist selbst die beste Klarscheibe optisch nicht einwandfrei genug und beeinträchtigt den Flieger in seiner Sehfähigkeit. Nach längerem Gebrauch bilden sich durch Quellung der Klarscheibe Schlieren; gesellt sich dazu noch Kälte, so gefriert die Scheibe und ist überhaupt unbrauchbar. An einen öfteren Wechsel während des Fluges ist bei der bisher gebräuchlichen Form der Brille nicht zu denken. Weiterhin setzt die Verwendung von Klarscheiben Plangläser voraus, die wir oben wegen ihres kleinen Gesichtsfeldes ablehnten. Ferner ist es nicht möglich, sie in eine gewölbte Brillenform so einzusetzen, daß sie die Gläser hermetisch abschließen, so daß die Möglichkeit des Herumkriechens feuchter Ausdünstungen besteht. Tatsächlich haben Versuche gezeigt, daß solche Brillen, namentlich in der Kälte, fast regelmäßig beschlagen. Endlich ist die Klarscheibe selbst recht empfindlich gegen Verunreinigungen durch Öl und Wasser, mit denen im Flugzeug immer zu rechnen ist. Die im Handel erhältlichen Salben zur Vermeidung des Beschlagens können zwar bei ventilierten Brillen ganz brauchbar sein; bei luftdicht abgeschlossenen versagen sie völlig.

Das Problem ist somit noch nicht gelöst.

d) Die Brille soll gleichzeitig als Kälteschutz dienen; zu diesem Zweck wird sie mit Halb- oder Ganzmasken (Abb. 364 und 365) verbunden. Diese sollen sich so anschmiegen, daß sie durch den Luftzug nicht flattern. Bei Ganzmasken ist das nur dadurch zu erreichen, daß sie etwa durch Gummizüge unterhalb des Kinns befestigt werden. Diese Art führt in Verbindung mit dem üblichen Schal dazu, daß die Bewegungsfreiheit des Kopfes stark behindert ist. Man zieht aus diesem Grunde allgemein Halbmasken vor und schützt den unteren Teil des Gesichts besser durch Tücher. Der Abschluß der Maske nach oben soll derart sein, daß er einerseits den Sitz der Fliegerkappe oder des Helmes nicht behindert, andererseits möglichst wenig Luft durchläßt. Die Benutzung von Masken, besonders solchen, bei denen die Nase vollkommen bedeckt ist, führt in erhöhtem Maße zum Beschlagen der Scheiben. Ganz unmöglich ist aus diesem Grunde ein völliger Abschluß des Mundes. Eine Form, die sich etwas besser bewährt hat, besteht darin, daß man die Ganzmaske von der Brille trennt. Für große Kälte ist dies wohl die einzige Art, die wenigstens einigermaßen brauchbar ist. Als Material für die Maske verwendet man Leder, nötigenfalls Pelzfütterung. Man hat versucht, die Maske mit der Kappe zu einem Ganzen zu verschmelzen; bei getrennter Brille mag darin ein Vorteil liegen.

e) Eine Brille soll nicht hinderlich sein. Da den Gläsern ein gewisser Abstand von den Augen gegeben werden muß, ist die Benutzung von Ferngläsern und die Bedienung optischer Apparate ohne weiteres nicht möglich. Für solche Fälle ist

bisher kein anderer Ausweg gefunden worden, als daß man sie zeitweise absetzt, oder nach oben verschiebt. Sicher würde der Flieger es dankbar anerkennen, wenn man hier neue Mittel und Wege fände.

Abb. 364. Halbmasken.

Abb. 365. Halbmaske.

f) Ist der Insasse auf die Benutzung einer Optik angewiesen, so muß er sie bisher in Form eines Klemmers unter der Schutzbrille tragen. Die Idee, geschliffene statt der Plangläser direkt in die Schutzbrille einzusetzen, scheitert daran, daß

alsdann von gekrümmten Gläsern abgesehen werden muß, so daß das Gesichtsfeld unzureichend wird. Versuche dieser Art sind nur vereinzelt und ohne rechten Erfolg ausgeführt. Es ist unwahrscheinlich, daß sich beide Forderungen optisch vereinigen lassen.

g) Die im Fluge häufig zu beobachtende Helligkeit und die dadurch hervorgerufene Blendung legten es nahe, farbige Gläser zum Schutz der Augen zu verwenden. Im allgemeinen sind solche nur in Form von Plangläsern im Handel; es liegt jedoch nichts im Wege, in der Masse gefärbte Gläser auch in gewölbte Form zu bringen. Als Färbungen verwendet man bräunlich und graugrün; einerseits geben sie ein angenehmes Licht und andererseits sind sie leicht herzustellen. Es zeigte sich nun, daß gewisse farbige Gläser neben dem Schutz gegen Blendung auch Differenzierung bestimmter Farbtöne auf dem Boden ermöglichen; so kann z. B. der die Beobachtung störende Bodendunst leicht ausgeschaltet werden. Um den Beobachter bei seinen vielseitigen Aufgaben zu unterstützen, untersuchte man die hier bestehenden optischen Verhältnisse systematisch und kam zu einer Anzahl von Farbtönen (Verfahren von Leiber), die sich für spezielle Beobachtungen besonders empfindlich erwiesen. Die dazu benötigten Farbstoffe waren fast durchweg organischer Natur, so daß sich eine Färbung des Glases in Masse verbot. Auflagen von Kollodium, Cellon oder Gelatine zeigten sich aber zu wenig widerstandsfähig oder optisch nicht homogen genug. Aus dem Grunde wandte man sich dem sog. Triplexverfahren der Firma Kinon, Aachen, zu; dieses besteht darin, daß man die gelatinierte Farbschicht zwischen zwei Spiegelscheiben bringt und letztere unter hohem Druck zusammenpreßt. Das Verfahren ist nicht einfach, liefert aber optisch einwandfreie Gläser; leider kann man jedoch nur Planscheiben dieser Art herstellen. Die für solche Spezialbrillen benutzte Form ist in Abb. 362c wiedergegeben; sie besitzen ein nur kleines Gesichtsfeld, was ihrer Einführung als Normalform außerhalb ihres eigentlichen Zweckes im Wege steht.

h) Gefärbte Gläser haben zwar den Vorteil, die Blendung herabzusetzen; andererseits stören sie aber bei der Tätigkeit innerhalb des dunkleren Rumpfes, so z. B. beim Photographieren, Ablesen der Instrumente und ähnlichem. Gefährlich jedoch ist ihre Eigenschaft, Entfernungen und Höhen bei ihrer Abschätzung anders erscheinen zu lassen, als bei gewöhnlichen Brillen; für den Führer bedeutet das z. B. eine wesentliche Erschwerung der Landung. Es entsteht somit die Aufgabe, eine schnelle und einfache Auswechslung zu ermöglichen. An Vorschlägen für Verbesserungen dieser Art fehlte es nicht, ohne daß von einer wirklichen Lösung bisher die Rede sein kann. Die Gläser selber herauszunehmen, um sie auszutauschen, erweist sich als unzweckmäßig; einmal erfordert es die Betätigung beider Hände, und dann ist ein wirksamer Luftabschluß kaum zu erzielen. Besser ist der Ausweg, farbige Gläser über die normalen Brillengläser zu schieben oder zu klappen; dabei zeigt sich jedoch die Wölbung als hinderlich; auch für den Verbleib der Vorsatzgläser während ihrer Nichtbenutzung ist noch kein geeigneter Platz gefunden worden, da der Helm oder die Kappe im Wege ist. Als Behelf kann das Übereinandersetzen zweier Brillen gelten.

i) Einen gewissen Ausweg aus der soeben erwähnten Schwierigkeit zeigt die „Zadebrille". Diese enthält Gläser, die nur in ihrer oberen Hälfte gefärbt sind;

dadurch wird eine von oben erfolgende Blendung unschädlich gemacht, ohne daß der Blick in das Innere des Rumpfes oder zum Erdboden behindert ist. In vielen Fällen erweist sich diese Form als durchaus brauchbar, indem sie den Wechsel der Brille durch den viel bequemeren Wechsel der Kopfhaltung ersetzt. Ihre Nachteile bestehen in folgendem: Bisweilen, namentlich bei diesigem Wetter, erfolgt die Blendung nicht von oben, sondern von unten, in welchem Falle die Zadebrille zwecklos wird. Ihre Herstellung ist teuer und schwierig, da die bisher verwandten Muster in der Masse gefärbt waren; auch waren sie bisher nur als Planscheiben erhältlich. Um ihre Herstellung zu vereinfachen, könnte man daran denken, Scheiben nach dem oben erwähnten Triplexverfahren anzufertigen, bei denen die Zwischenlage sich konisch nach unten verjüngt; dadurch würde man eine regelmäßige Abschattierung von farbig bis weiß erzielen. Die technische Lösbarkeit dieser Idee ist jedoch fraglich.

k) Um die Blendung noch auf andere Weise regulierbar auszuschalten, hat man neuerdings den Vorschlag gemacht, Irisblenden zu verwenden. (Siehe darüber: M. v. Rohr, Zeitschr. f. ophth. Optik S. 134—137, 1919.) Da Erfahrungen noch nicht vorliegen, kann nicht näher darauf eingegangen werden.

l) Eine sehr lästige Erscheinung ist die Verölung der Brille während des Fluges. Mittel dagegen lassen sich nicht angeben, es sei denn, daß man den Motor selber nach hinten zu verschalt; man benutzt hierzu Cellonscheiben, die zugleich einen Windschutz bilden. Dadurch wird aber der Luftwiderstand nicht unbeträchtlich erhöht. Die Beseitigung des Öls erfolgt durch Wischlappen, die ebenfalls zum nötigen Inventar des Fliegers gehören.

Zusammenfassend muß bemerkt werden, daß die Fliegerbrille noch mancher Ausbildung bedarf, bis sie als einwandfrei gelten kann. Im übrigen spielt hier die Gewohnheit und das persönliche Moment eine große Rolle.

2. Ferngläser.

a) Für den Gebrauch im Flugzeug.

Bei unserer hochentwickelten Fernglasindustrie ist es überflüssig, an dieser Stelle Worte über die Güte der verschiedenen Optiken zu sagen. Die Benutzung eines Fernglases im Flugzeug ist an so viele Äußerlichkeiten gebunden, daß die Bewertung der Spezialoptiken völlig zurücktritt. Einmal ist es die Erschütterung durch den Motor, die das Bild beeinträchtigt; daraus ergeben sich die beiden Forderungen: kurze Rohre, also möglichst Prismengläser, und geringe Vergrößerung. Vielfache Erfahrung hat gelehrt, daß für ein den meisten Anforderungen entsprechendes Glas eine $3^1/_2$fache Vergrößerung am angemessensten ist. Für ganz besondere Zwecke kann, hervorragende Übung des Betreffenden vorausgesetzt, 6—8fach noch in Frage kommen; höher zu gehen ist aussichtslos, weil das Bild verschwimmt. Dagegen kann sich bei Dunkelheit bisweilen eine noch geringere Vergrößerung (Nachtglas Abb. 366) praktisch erweisen, etwa $1^1/_2$fach, selbst 1fach, weil auf diese Weise die Helligkeit erhöht wird. Was allgemein die Wahl der Lichtstärke betrifft, so ist ein Mehr niemals von Nachteil, und die Frage ist wesentlich eine solche des Preises und des Gewichts.

Wie schon oben bemerkt, verbietet sich der gleichzeitige Gebrauch von Fernglas und Brille wegen des Abstandes der letzteren vom Auge. Es entsteht somit das Bedürfnis eines Windschutzes für Ferngläser. In Abb. 367 ist eine brauchbare Form eines solchen wiedergegeben, die sich leicht auf den verschiedensten Sorten von Gläsern anbringen läßt.

Abb. 366. Nachtglas.

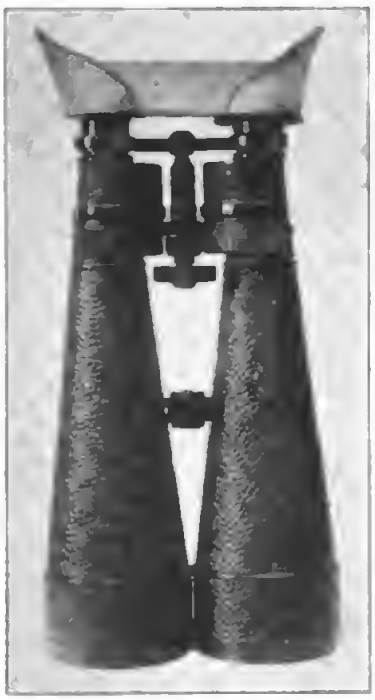


Abb. 367. Windschutz für Ferngläser.

b) Für den Gebrauch auf dem Boden.

Für mannigfache Zwecke, namentlich unter kriegerischen Verhältnissen wird eine Beobachtung vom Boden aus erforderlich; insbesondere handelte es sich um Unterscheidung eigener und fremder Flugzeuge. Man benötigt hierzu auf Stativen montierte Ferngläser oder Fernrohre; Abb. 368 und 369 stellen einige gebräuchliche Formen dar. Bekanntlich ist es gar nicht einfach, Flugzeuge in der Luft aufzufinden; das erste Erfordernis ist deshalb ein großes Gesichtsfeld. Die Vergrößerung schwankt in den Grenzen 6—18fach, die gebräuchlichste dürfte mit 8—12fach anzusetzen sein. Günstiger ist es, wenn das Gerät mit auswechselbarer Vergrößerung ausgestattet ist, wie bei Abb. 370—373.

Da das zu beobachtende Objekt sich meistens schräg über dem Beobachter befindet, ergibt sich bei gewöhnlichen Ferngläsern eine unbequeme Kopfhaltung, die die dauernde Beobachtung zur Qual macht. Man vermied diesen Umstand dadurch, daß man den Strahlengang mit Hilfe von Prismen knickte, etwa in der Form von Abb. 369 oder 370. Dadurch wird zwar die Beobachtung erleichtert, das Auffinden aber erschwert. Man versieht deshalb das Gerät mit einem Hilfsvisier,

Digitized by Google

wie es Abb. 370 zeigt. Für die Schätzung der Höhe bzw. der Geschwindigkeit des zu beobachtenden Flugzeugs hat es sich als praktisch erwiesen, wenn ein Okularmikrometer in Form einer Strichplatte vorhanden ist.

Fast der wichtigste Teil des Ganzen ist das Stativ. In Anbetracht der großen Geschwindigkeit des beobachteten Objekts ist eine fortwährende Einregulierung notwendig. In den Figuren ist eine Anzahl solcher Stative abgebildet, die jedoch sämtlich ihrem Zweck nur unvollkommen entsprechen. Zu fordern ist einmal die Möglichkeit einer augenblicklichen Grobeinstellung, und zweitens einer am besten

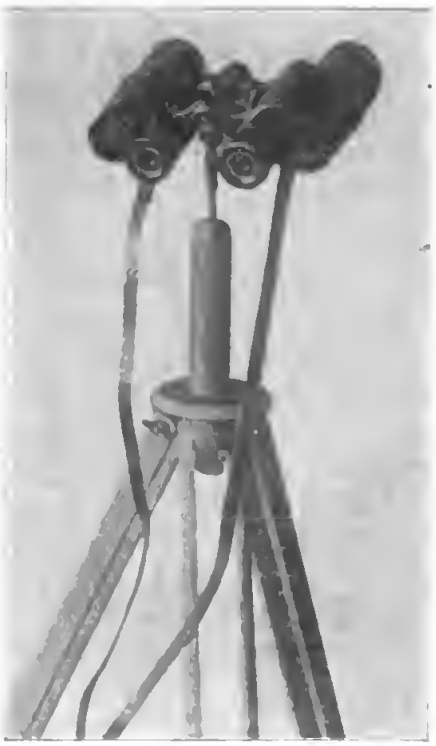


Abb. 368.
Beobachtungsfernglas (Voigtländer).

Abb. 369.
Beobachtungsfernglas (Leitz).

durch Kurbeln zu bedienenden Feineinstellung. Es liegen zwar außer den dargestellten noch eine ganze Anzahl von Lösungsversuchen der verschiedensten Firmen vor. Eine voll befriedigende Ausführung ist jedoch dem Verfasser bisher nicht bekannt geworden. So ist es z. B. bei allen gebrochenen Fernrohren zu bemängeln, daß zur Benutzung des Hilfsvisiers der Beobachter seine Stellung wechseln muß. Auch sind die Geräte häufig nicht genügend ausbalanciert.

Die Frage, ob man mono- oder biokular besser beobachtet, ist unbedingt in letzterem Sinne zu beantworten, da so eine Ermüdung der Augen ungleich weniger eintritt; überhaupt zeigte es sich, daß eine fortgesetzte Beobachtung ziemliche Anforderungen an den Beobachtenden stellt. Es wäre zu erwägen, ob nicht an Stelle des subjektiven Fernrohrs eine objektive Beobachtung, etwa mittels Projektion auf eine Mattscheibe Vorteile bietet.

Abb. 370. Beobachtungsfernrohr (Busch).

Abb. 371. Beobachtungsfernrohr (Zeiß).

Digitized by Google

Abb. 372. Stativ des Fernrohres (Zeiß).

Abb. 373. Beobachtungsfernrohr (Voigtländer).

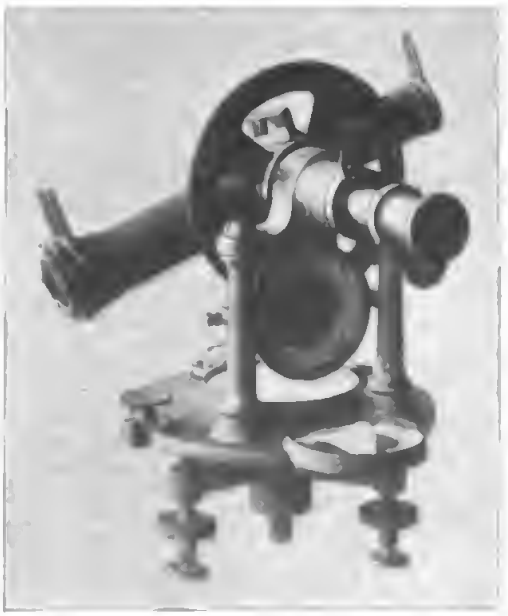


Abb. 374. Beobachtungstheodolith (Hartmann & Braun).

Um die Blendung auszuschalten, haben sich auswechselbare Gelbscheiben gut bewährt.

Den Standort eines Flugzeugs schneidet man am einfachsten mit Theodolithen an (z. B. Abb. 374). Die Verwendung zweier solcher auf bekannter Basis führt zur Höhenmessung, worauf oben eingegangen wurde.

G. Borduhren.

1. Anforderungen.

Im allgemeinen wird wohl ein Flugzeuginsasse eine eigene Taschenuhr besitzen; trotzdem dürfte sie ihm im Fluge wenig nützen, da sich in diesem Falle die Fliegerkleidung als recht hinderlich erweist. Zur kompletten Ausrüstung eines Flugzeugs gehören somit eine oder mehrere Uhren; sei es zur Abschätzung der Reisegeschwindigkeit, zur Erleichterung der Orientierung, zur Disponierung über den vorhandenen Betriebsstoff, zur Markierung eintretender Ereignisse oder zur Landung vor der

Normalien: Durchmesser des sichtbaren Zifferblattes ca. 46 mm. Durchmesser des inneren Teilstrichkreises 39 mm. Dünne Striche: Länge 1 mm, Stärke 0,3 mm. Dicke Striche: Länge 1 mm, Stärke 1,0 mm. Größe der Zahlen 4,5 mm, Strichstärke 0,7 mm. Schraffierung bedeutet Leuchtmasse.

Abb. 375. Normalzifferblatt für Borduhren.

Dunkelheit; selten gehört die Kenntnis der Uhrzeit so sehr zum Gelingen, wie gerade beim Fluge.

Das erste Bedürfnis ist dabei, daß die Borduhr an besonders gut sichtbarer Stelle angebracht wird, d. h. gegenüber dem Insassen. Im normalen Flugzeug, das nicht durch Kabinen geschützt ist, bedeutet das aber, daß sie dem Wetter, namentlich der Kälte ganz ungewöhnlich ausgesetzt ist. Daraus ergibt sich als notwendigstes Erfordernis, daß das Werk auf Temperatur in den weitesten Grenzen kompensiert sein muß. Bei den gebräuchlichen Werken ist das keineswegs der Fall, weil sie entweder auf Körperwärme oder auf Zimmerwärme berechnet sind. Das hier zu berücksichtigende Temperaturintervall, das wir wieder auf -40 bis $+40^0$ veranschlagen wollen, stellt an die Uhrentechnik keine kleine Forderung. Aber fast noch wichtiger ist gerade hier die Verwendung eines nicht gefrierenden oder gerinnenden Öles. Die Erfahrung ergab, daß die meisten Fälle des Versagens auf diesen Umstand zurückzuführen sind. Ein behelfsmäßiges, aber recht erfolgreiches Mittel liegt in der Beimischung geringer Mengen Petroleum zum Öl.

Ein zweites Erfordernis ist die Unempfindlichkeit gegen Erschütterung; so ist namentlich eine am Instrumentenbrett montierte Uhr den Stößen des Motors stark

ausgesetzt. Auch der Nähe des Zündmagneten ist zu gedenken, die Störungen verursachen kann. Endlich ist gegen äußere Beschädigungen das Gehäuse und namentlich das Deckelglas kräftig genug zu wählen. Es ist Sache der Uhrenindustrie, Werke zu schaffen, die diesen Umständen Rechnung tragen.

Ein Sekundenzeiger ist unbedingt nötig. Das Zifferblatt ist nach Abb. 375 normalisiert worden; es weist an den Ziffern 3, 6, 9, 12 und den Zeigern Radiumbelegung auf. Eine Belegung sämtlicher Ziffern, wie es auf Taschenuhren der Fall zu sein pflegt, hat sich als nicht sehr empfehlenswert erwiesen; die Augen sind durch Luftzug und Kälte häufig so angegriffen, daß ein solcher Ziffernkranz unleserlich wird. Um trotzdem die Stunden unterscheiden zu können, sind sie durch leuchtende Punkte markiert. Der Aufzug befindet sich vorteilhaft unten am Gehäuse, also bei der Ziffer 6; einmal wird dadurch die Bedienung etwas erleichtert, wie sich

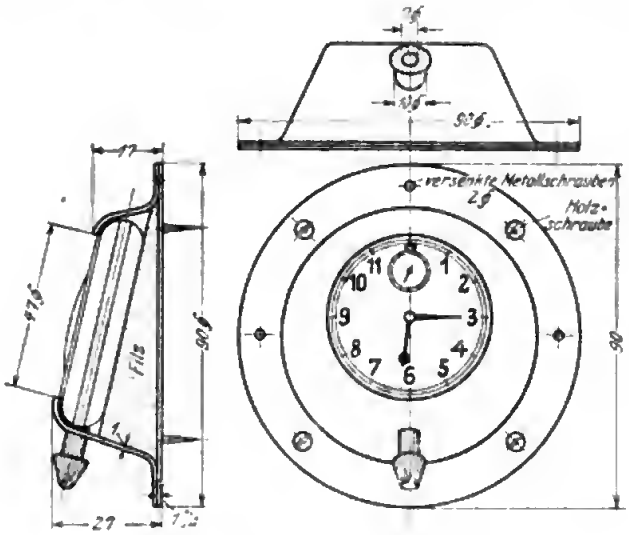


Abb. 376. Gehäuse für Borduhren.

aus der Einbauskizze Abb. 376 ergibt; dann aber wird ein Diebstahl leichter vermieden, da die Veräußerung derartig abnormer, für Taschenuhren ungeeigneter Formen erschwert ist.

2. Einbau.

Der Einbau erfolgt am besten nach Abb. 376; die Uhr ist in einem Metallgehäuse fest verschraubt, eine Unterlage aus Filz sorgt für Dämpfung und langsamen Temperaturausgleich. Das so fixierte Wertobjekt ist vor Gelegenheitsdieben besser geschützt, als wenn es bei jedem Aufziehen herausgenommen werden muß. Noch günstiger ist eine Verschraubung von der Rückseite. Die andere Alternative, die Uhr nach jedem Fluge selbst herauszunehmen und sie dementsprechend zu montieren, hat sich wenigstens bisher nicht bewährt, weil der Flieger nach dem Fluge erfahrungsmäßig leicht die Mitnahme solcher Gegenstände vergißt. — Bei derartigen Betrachtungen spricht hier nicht sowohl der Verlust als solcher mit, als

vielmehr die Sorge um die Startbereitschaft; das Fehlen selbst einer Uhr kann indirekt zur Katastrophe führen, wie oben angedeutet wurde.

Die Ansicht einer Borduhr (mit unzweckmäßigem Aufzug) ist in Abb. 377 gegeben. Zur Überschreitung der Größe liegt kaum ein Grund vor, es sei denn wiederum der der Diebstahlerschwerung.

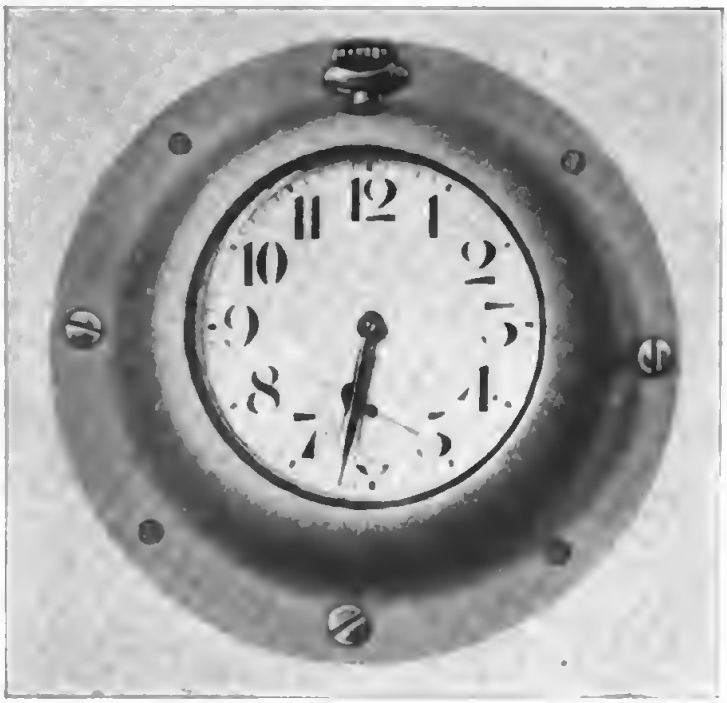


Abb. 377. Eingebaute Borduhr.

3. Stoppuhren.

Stoppuhren können im Flugzeug häufig Verwendung finden. Da ihre Werke noch empfindlicher sind als die gewöhnlicher Uhren, wird man es vorziehen, sie am Körper zu tragen, wo sie den Erschütterungen und der Kälte weniger ausgesetzt sind. Für gewisse Zwecke (Bombenwurf, Geschwindigkeitsmessung) ist es vorteilhaft, wenn auf den Zifferblättern Skalen vermerkt sind, die sogleich die gesuchte Größe abzulesen gestatten, um Rechnungen zu ersparen. Bekanntlich nimmt die Schwierigkeit des Einmaleins mit der Flughöhe zu.

Abschnitt V.

Geräte für verschiedene Zwecke.

A. Anstellwinkelmesser.

Ein zur Beurteilung der Verspannung benötigtes Meßgerät ist der Anstellwinkelmesser, der in verschiedenen Formen im Gebrauch ist. Das Verfahren besteht

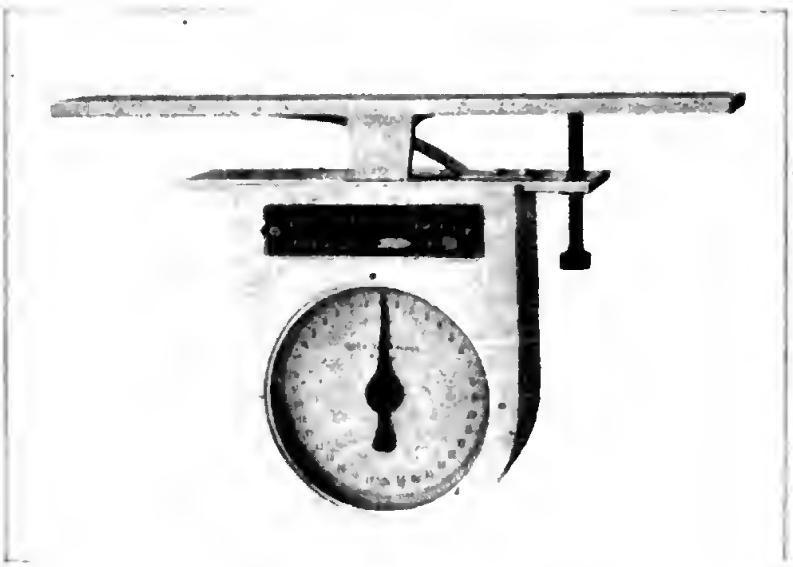


Abb. 378. Anstellwinkelmesser (Wichmann).

darin, daß man am horizontal aufgebockten Flugzeug den Winkel bestimmt, den eine in der Längsrichtung an die Hauptholme der Tragflächen gelegte Schiene mit der Horizontalen bildet. Die Bestimmung dieses Winkels kann auf mehrfache Art geschehen. Zur Definierung der Horizontalen verwendet man entweder eine Wasserwage oder kommunizierende Röhren oder endlich ein Pendel. Die ersteren Verfahren rechtfertigen kaum eine nähere Beschreibung; das letztere gestaltet sich in der von Wichmann (siehe Abb. 378) gegebenen Anordnung besonders einfach und genau. Das Pendel ist hier innerhalb einer Uhr angebracht und überträgt seine Ausschläge stark übersetzt auf einen Zeiger, der noch Zehntelgrade abzulesen gestattet; die große Übersetzung erfordert jedoch eine geschickte Handhabung.

Digitized by Google

Auf ein weiteres Gerät, das zur Kontrolle des Flügelprofils dient, sei hier nur kurz hingewiesen (Abb. 379). Es besteht aus einer mit Wasserwage versehenen Schiene, die horizontal unter den Flügel gebracht wird. Auf dieser Schiene sind in Abständen von je 10 cm vertikal verschiebbare Meßstäbe angebracht, die so

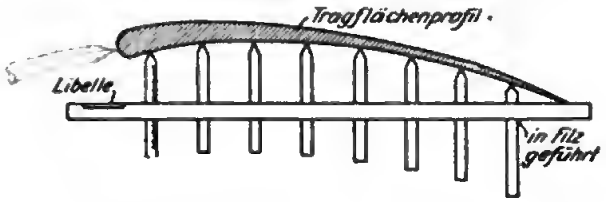


Abb. 379. Verspannungsmesser nach Bennewitz.

lange verschoben werden, bis sie die Tragfläche berühren, wonach die Koordinaten der Flügelkurve direkt abgelesen werden können. Die Messung wird je nach Bedarf an den Hauptspanten vorgenommen. Es sollte allgemein durchgeführt werden, daß jedes Flugzeug seine Verspannungstabelle bei sich trägt, und zwar in der Art, daß sie ohne weiteres die Benutzung des letzterwähnten Profilgeräts gestattet.

B. Benzinprüfer.

1. Verfahren nach Dr. K. Dieterich.

Die Prüfung des für den Flugmotor benötigten Brennstoffs hinsichtlich seiner Art und Qualität ist aus technischen und ökonomischen Gründen von Bedeutung, namentlich seitdem die Güte der Handelsware sehr schwankt. Es handelt sich im wesentlichen um Benzin, Benzol, Mischungen beider und Zusätze, wie Alkohol, Kohlenwasserstoffe, Azeton, Schwefelkohlenstoff, Toluol usw.

Für die Untersuchungen der zahlreichen Motorbetriebsstoffe werden folgende hauptsächlichsten Bestimmungen durchgeführt:

1. Bestimmung des spezifischen Gewichts,
2. Farbe und äußere Merkmale,
3. Geruchsprobe auf Filtrierpapier,
4. Zeitliche Verdunstung,
5. Verhalten gegen Lackmus,
6. Dracorubinprobe,
7. Wasserprobe mit Kalzinmkarbid.

1. Bestimmung des spezifischen Gewichts. Das spezifische Gewicht wird entweder mit der Mohrschen Wage oder mit einem Aräometer bei 15° C bestimmt. Die gefundenen spezifischen Gewichte schwanken, vom Leichtbenzin angefangen, zwischen 0,650 und 0,750. Die eigentlichen Benzine gehen bis 0,750 hinauf, und die jetzt gebräuchlichen Mittelbenzine von 0,715—0,730 zeigen in der Zusammensetzung derartige Unterschiede, daß schon hieraus die Wertlosigkeit der Bestimmung des spez. Gewichts allein erhellt, soweit damit seine motorische Brauchbarkeit ausgedrückt werden soll. K. Dieterich schlägt vor, die Motorenbenzine wie folgt nach dem spez. Gewicht einzuteilen.

Klasse A: Motorenleichtbenzine von 0,650—0,700. Die Vertreter dieser Gruppe sind erstklassige Benzine und teuer.

Klasse B: Motorenmittelbenzine von 0,701—0,730. Hierunter befinden sich die hauptsächlichsten Motorenbenzine und verschiedene Mischungen zu verschiedenen Preisen.

Klasse C: Motorenschwerbenzine und Nutzbenzine von 0,731 bis 0,760 und höher. Hierunter fallen gleichfalls eine Anzahl Motorenbenzine, auch die mit Phantasienamen in den Handel gebrachten Produkte zu billigem Preis.

Je niedriger das spez. Gewicht, desto höher ist der Preis und seine motorische Verwendbarkeit.

Bei Benzol, und zwar dem für Motorenzwecke ausschließlich verwendeten 90er Handelsbenzol I, schwankt das spez. Gewicht von 0,870 bis 0,885. Für die Beurteilung eines Motorenbetriebsstoffes auf Grund des gefundenen spezifischen Gewichts ist folgende kleine Aufstellung verwendbar.

Gefundenes spez. Gewicht	Der Betriebsstoff ist
0,650—0,700	Leichtbenzin
0,701—0,730	Mittelbenzin
0,731—0,760	Schwerbenzin
0,880—0,885	90 %-Motorenbenzol
0,886 und höher	Schwerbenzol, Leuchtbenzol

Mischungen von Benzin und Benzol liegen dazwischen.

2. Farbe und äußere Merkmale. Man gießt etwas von dem zu untersuchenden Benzin oder Benzol nach vorherigem Durchschütteln des Untersuchungsmaterials in ein Reagenzglas und beobachtet, als Hintergrund ein weißes Papier benutzend. Nur die ganz schweren Nutzbenzine und unreinen Benzole zeigen teilweise gelbliche Färbung. Es ist zu fordern, daß die Motorbetriebsstoffe farblos und klar sind und keine Schmutzteile enthalten.

3. Geruchsprobe auf Filtrierpapier. Man gießt etwas von dem zu untersuchenden Motorenbetriebsstoff auf Filtrierpapier, läßt verdunsten und prüft hierbei, ob der Betriebsstoff den charakteristischen Geruch von Benzin oder Benzol zeigt und ob derselbe nach kurzer Zeit ohne Hinterlassung eines Fettfleeks vollständig verschwunden ist. Schlechte Motorenbenzine hinterlassen einen bleibenden Geruch und unter Umständen, wie die meisten Nutzbenzine, auch einen fettigen Rückstand.

Für die Beurteilung eines Motorenbetriebsstoffes auf Grund der Geruchs- und Flüchtigkeitsprobe kann man sich folgender Tabelle nach Dieterich bedienen:

Gefundener Geruch und Flüchtigkeit:	Betriebsstoff ist:
Geruchlos bzw. reiner Geruch, vollkommen flüchtig	Gutes Motorenbenzin oder Benzol
Riechender Rückstand, nicht oder nur schwer flüchtig, unter Umständen Fettflecke auf dem Filtrierpapier gebend	Unreines Benzin, Schwerbenzin, Petroleum, reines Benzol, Leuchtbenzol, Schwerbenzol oder Mischungen

Wasserhaltiges Benzin oder Benzol hinterlassen Wassertropfen.

4. Zeitliche Verdunstung im Uhrglas. 10 ccm des zu untersuchenden Motorenbenzins oder Benzols werden in ein flaches Uhrglas gebracht und dieses an einem vollständig zugfreien Ort von Zimmertemperatur hingestellt. Zweckmäßig legt man ein schwarzes Papier, der besseren Beobachtung halber, unter. Das flache Uhrglas darf nicht durch Schälchen oder andersgeartete Verdunstungsgefäße ersetzt werden. Man nimmt ein Uhrglas von 10 cm Durchmesser und 1 cm Tiefe, beobachtet, innerhalb welcher Zeit der Motorenbetriebsstoff verdunstet ist und stellt gleichzeitig fest, ob die Verdunstung gleichmäßig, oder ob sie am Anfang schneller, am Ende langsamer geht, evtl. auf einer Wage.

Die Verdunstungszeit von 10 ccm beträgt: (nach Dieterich)	Der Betriebsstoff ist:
Viel weniger als 2 Stunden	Prima Motorenbenzin Klasse A
Höchstens 2—2½ Stunden	Gutes Benzin, Leicht- und Mittelbenzin Klasse A und B
2½—3 Stunden und länger Schwerverdunstender Rückstand	Schwerbenzin oder Mischung von Leicht-, Mittel- und Schwerbenzin Klasse C
Höchstens 3½ Stunden	Gutes Motorenbenzol (90 % Handelsbenzol)
Mehr als 4 Stunden	Schwerbenzol, Leuchtbenzol oder Mischungen mit diesen

Um einen Anhaltspunkt für das Mischungsverhältnis zu haben, ist nachstehende kleine Tabelle (nach Dieterich) zusammengestellt:

Verdunstungsgeschwindigkeit von 10 ccm im Uhrglas von 10 cm und 1 cm Tiefe.

Normalbenzin				57	Min.			
„	+ 5 %	Benzol		1	Std.			
„	+ 10 %	Benzol		1	Std.	u.	7	Min.
„	+ 20 %	„		1	„	„	26	„
„	+ 25 %	„		1	„	„	40	„
„	+ 30 %	„		1	„	„	51	„
„	+ 40 %	„		1	„	„	54	„
„	+ 50 %	„		1	„	„	56	„
„	+ 60 %	„		1	„	„	58	„
„	+ 70 %	„		1	„	„	59	„
„	+ 75 %	„		2	„	„	1	„
„	+ 80 %	„		2	„	„	3	„
„	+ 90 %	„		2	„	„	19	„
Benzol (Kriegsware)	100 %			2	„	„	23	„

5. Verhalten gegen Lackmus. Man prüft Benzin oder Benzol entweder direkt mit Lackmuspapier oder auch, indem man sie mit Lackmustinktur schüttelt. Auch nach längerem Stehen darf keine Veränderung des Lackmusfarbstoffes stattfinden. Wie die Untersuchungen zeigen, reagieren die meisten Benzine neutral, nur die Schwerbenzine zeigen bisweilen schwachsaure, die Benzole meist eine Spur alkalischer Reaktion, was aber vielleicht auch darauf zurückzuführen ist, daß Benzol dem Lackmus durch Lösung Farbstoff entzieht, wodurch ein schwach bläulicher Ton entsteht.

6. Die Dracorubinprobe auf Papier. Zur Unterscheidung von Benzin und Benzol kann man Jod verwenden, das sich im Benzin mit himbeerroter, im Benzol mit violetter Farbe löst, nicht aber zum Nachweis von Benzol im Benzin, da die Farbtöne bei den Mischungen zu wenig Unterschiede zeigen.

Einfacher gestaltet sich die „Dracorubin"-Methode (Harz des Palmendrachenblutbaums) nach Dieterich. Dieser Stoff wird, auf Papierstreifen aufgetragen, von der Firma Helfenberg A.-G. (Sachsen) in den Handel gebracht. In 30 ccm des zu untersuchenden Betriebsstoffs werden vier solcher Streifen hineingebracht; nach 24 Stunden wird seine Färbung mit der des Ausgangsproduktes verglichen.

Es zeigt sich, daß das Dracorubinpapier an Normalbenzin, wie überhaupt benzolfreie Leichtbenzine, kalt nichts abgibt, während sich schon geringe Mengen von Benzol im Benzin durch eine mit dem Prozentgehalt zunehmende rosa bis rote Färbung verraten.

Es ergibt sich somit folgende Analysenregel:

Die Farbstoffprobe ergibt:	Betriebsstoff ist:
Flüssigkeit ungefärbt, höchstens schwacher Rosaschimmer. Das wieder getrocknete dunkelrote Reagenzpapier unverändert	Prima Benzin, überhaupt gutes Motorenbenzin, benzolfrei oder nur mit Spuren Benzol bzw. aromatischen Kohlenwasserstoffen
Flüssigkeit leicht rosa gefärbt; Reagenzpapier ein wenig heller geworden	Gute Mittelbenzine mit schwachem, natürlichem Benzolgehalt
Flüssigkeit rosa bis hellrot gefärbt; Reagenzpapier rot geworden	Benzolhaltige Mittelbenzine, Schwerbenzine oder Mischungen von Benzin und Benzol oder Leichtbenzin mit benzolhaltigem Schwerbenzin
Flüssigkeit mehr gelblich rosa, Reagenzpapier heller geworden	Benzolarme, meist toluolhaltige Schwerbenzine von hohem spez. Gewicht
Flüssigkeit hellrot bis dunkelrot, Reagenzpapier rot bis hellrot, fein gesprenkelt	Mischungen von Benzin und Benzol oder ganz stark benzolhaltige Benzine
Flüssigkeit dunkelblutrot, Reagenzpapier matt, ziegelrot fein gesprenkelt	Gutes 90 %-Motorenbenzol
Flüssigkeit dunkelbraunrot, Reagenzpapier dunkelgesprenkelt, ziegelrot	Toluol, xylolhaltiges Schwerbenzol oder toluolhaltiges, benzolarmes Schwerbenzin

7. Wasserprobe mit Kalziumkarbid. Man gibt zu dem vorher gut durchgeschüttelten Motorenbetriebsstoff ein paar Stückchen ganz trockenes Kalziumkarbid und beobachtet, ob sich eine Entwicklung von Azetylengas bemerkbar macht.

Alle erwähnten Prüfungen lassen sich leicht mit dem von Dieterich zusammengestellten „Motolprüfungsgerät" ausführen.

2. Benzinprüfer nach Dr. R. Hase.

Während das oben geschilderte Verfahren nur mehr oder weniger qualitative Schlüsse zu ziehen gestattet, läßt sich mit einem dem Englerschen nachgebildeten Destillationsverfahren eine quantitative Analyse von Motorbetriebsstoffen einfach und schnell ausführen. Das dazu benötigte Siedegerät ist von der Firma Dr. R. Hase,

Hannover, in kompendiöser Form in den Handel gebraeht und in Abb. 380 abgebildet. Bezüglieh der Verwendung muß auf die Gebrauchsanweisung dieser Firma hingewiesen werden.

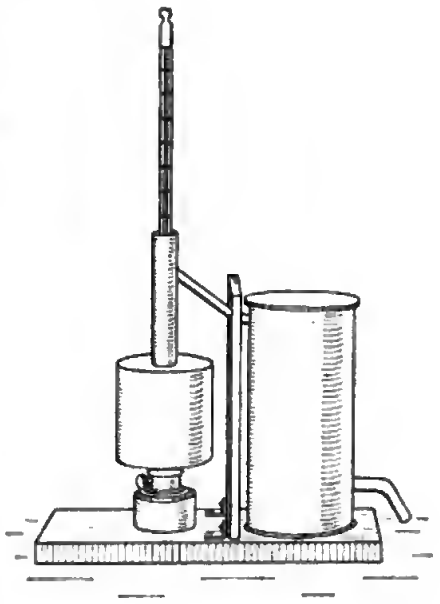


Abb. 380.
Benzinprüfer nach Dr. R. Hase.

C. Meteorologische Instrumente.

Es ist wohl unbestreitbar, daß das Flugzeug trotz seiner ungemein sehnellen Entwieklung auch heute noeh in hohem Maße vom Wetter abhängig ist. Wenn bei kriegerischen Unternehmungen Witterungseinflüsse ihre Bedeutung mehr und mehr verloren hatten, so darf das nicht darüber hinwegtäusehen, daß es sieh dabei um Höchstleistungen handelte, die man einem geregelten Friedensbetrieb nicht zugrunde legen darf. Naeh wie vor bleibt also die Kenntnis der Wetterlage eine der wiehtigsten Vorbedingungen.

Der allgemeine Wetterdienst ist bereits seit langem in so großzügiger Weise ausgebaut worden, daß er eine geeignete Grundlage zu bilden vermag. Wir können uns in allen den Fragen, die er behandelt, kurz fassen und auf die reiehe meteorologische Literatur verweisen. Gleichwohl zeigt es sich, daß damit noch nicht alle Fragen, die die Fliegerei für ihre besonderen Zweeke stellen muß, ihre Beantwortung gefunden haben.

Der allgemeine Wetterdienst beschränkt sich im wesentlichen auf folgende Punkte: Ermittlung der Isobaren am Boden (von 12 zu 12 Stunden), Windrichtung und Windstärke am Boden, Isothermen am Boden, Bewölkung und Sonnensehein, Luftfeuehtigkeit und Niederschlagsmengen.

Für den Flieger kommen außerdem noch in Betraeht:

a) Windrichtung und -stärke in Abhängigkeit von der Höhe.
b) Vertikale Luftströmungen.
c) Böenstärke.
d) Temperaturgradient bzw. Temperaturen in der Höhe.
e) Wölkenhöhe, Wolkenart, Dunstverhältnisse.
f) Elektrischer Zustand der Atmosphäre.

Kurz gesagt verlangt der Flieger eine Meteorologie nach drei Dimensionen; außerdem aber noch die Einführung neuer Begriffe, wie den der Böenstärke. Wir wollen nun die versehiedenen Mittel zur Lösung der gestellten Aufgaben durehgehen.

1. Instrumente des allgemeinen Wetterdienstes.

Die Aufnahme des Luftdrucks am Boden erfolgt durch Barographen, die Ermittlung der Isobaren zeiehnerisch durch Kombination von zahlreiehen Druek-

und Windmeldungen. Wenn auf diesem lange bearbeiteten Gebiete noch etwas bemerkt werden soll, sei es folgendes. Eine vielfache Erfahrung hat gezeigt, daß selbst der beste Aneroidbarograph dem Quecksilberbarometer unterlegen ist; es wäre deshalb eine dankbare Aufgabe, Quecksilberbarographen für den Gebrauch an ortsfesten Stationen zu konstruieren, die vollkommene Zuverlässigkeit mit leichter Bedienbarkeit verbinden.

Die Windrichtung wird durch Windfahnen ermittelt; die schriftliche Fixierung erfolgt entweder durch elektrische Sektorkontakte oder durch direkte Übertragung mit Hilfe einer Welle. Die Messung soll in Höhe von mindestens 15 m über dem Erdboden unter Vermeidung lokaler Bodenwirbel vorgenommen werden. Die Windstärke wird mit Hilfe von Schalenkreuzen ermittelt, wobei dieselben Gesichtspunkte gelten. Die Fixierung der Windstärke erfolgt im allgemeinen intermittierend durch selbsttätige Zählung der während eines bestimmten Zeitabschnittes stattgehabten Umdrehungen des Kreuzes.

Die Bodentemperatur wird durch Thermographen niedergeschrieben.

Die Bewölkung wird meistens nur grob geschätzt. Zahlenmäßig läßt sie sich notdürftig mit dem Wolkenspiegel (Abb. 381) ermitteln; dieser besteht aus einem

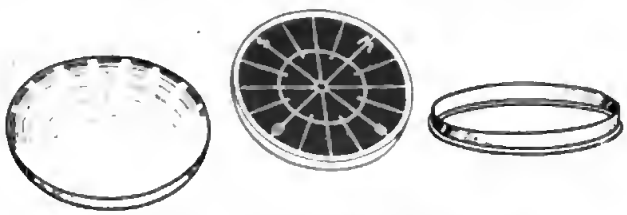


Abb. 381. Wolkenspiegel (Bamberg).

schwach gewölbten Konvexspiegel, der eine sektorartige Teilung trägt. Man zählt die bei der Spiegelung durch Wolken bedeckten Sektoren aus. Das Verfahren ist jedoch nicht eindeutig, da es nicht die Vertikalprojektion der Wolkendecke liefert; zur relativen Bestimmung reicht es aus. Zu statistischen Zwecken geeigneter und auf den Wetterstationen vorwiegend in Gebrauch sind Heliometer; diese entwerfen durch eine Kugellinse ein wanderndes Bild der Sonne auf einen imprägnierten Papierstreifen; die Dauer des Sonnenscheins markiert sich selbsttätig durch Brandflecke.[1])

Zur Messung der Luftfeuchtigkeit dienen Hygrometer und Psychrometer bekannter Ausführung; Niederschlagsmengen werden in ebenfalls bekannten Regenmessern bestimmt.

2. Instrumente für den Sonderbedarf des Fliegers.

a) Windmessung (in Abhängigkeit von der Höhe).

Die oben erwähnten Windfahnen und Schalenkreuze können lediglich zu Messungen dicht am Boden verwendet werden; der Flieger benötigt aber gerade die Kenntnis höherer Luftschichten. Kirchtürme und ähnliche Bauten erhöhen

[1]) Neuere Literatur: W. Gerlach, Met. Zeitschr. 36, 44—46 (1919).

den Meßbereich nicht wesentlich; Berge geben lokale Störungen und fälschen das Resultat. Eine bekannte Faustregel besagt, daß die Windrichtung mit der Höhe im Sinne des Uhrzeigers dreht, häufig bis zu 90°; ferner soll unter normalen Verhältnissen die Windstärke um etwa 1 m pro 100 m Erhöhung zunehmen[1]). Diese Angaben sind natürlich für einen sachgemäßen Flugwetterdienst unzulänglich. Weitere Aufschlüsse liefert die Beobachtung von Wolken; erfahrungsgemäß täuscht jedoch die ohne besondere Hilfsmittel angestellte Schätzung, selbst schon betreffs der Richtung des Wanderns. Visiervorrichtungen aus Fernrohr und Kompaß lassen sich leicht in mannigfacher Art kombinieren; in Gebrauch sind derartige Instrumente anscheinend noch nicht. Um zugleich die Windstärke zu erhalten, muß die Wolkenhöhe ermittelt werden, worauf wir unter e zurückkomuen.

Das einzige, völlig durchgebildete und auf den Hauptwetterstationen angewandte Verfahren ist das der Pilotballonverfolgung: ein Papierballon bekannter Gasfüllung (Wägung!) wird vom Beobachtungsort steigen gelassen. Seine Steiggeschwindigkeit ist als konstant zu betrachten (soweit nicht Vertikalströmungen vorhanden sind) und durch besondere Versuche zu ermitteln. Nun wird der Standort des Ballons zu bestimmten Zeiten mittels geeigneter Theodolithen angeschnitten (Spezialgeräte z. B. der Firma Bamberg und anderer). Aus diesen Angaben läßt sich dann an Hand besonderer Tabellen Windrichtung und -stärke als Funktion der Höhe errechnen. Über dies Verfahren existiert eine umfangreiche Literatur.

Für geringe Höhen bis zu 300 m lassen sich weiterhin Feuerwerkskörper verwenden, die in bekannter Höhe unter Rauchentwicklung platzen.

Zwar nicht für die Flugpraxis, wohl aber zu wissenschaftlichen Zwecken geeignet ist das im Kapitel „Fahrtmesser“ (S. 216) erwähnte „Verfahren des Dreiecksflugs“, das mit Hilfe optischer Anvisierung eines Flugzeugs von zwei Stellen des Bodens aus nicht nur dessen Eigengeschwindigkeit, sondern auch die Windstärke zu bestimmen gestattet. Dem Pilotballonverfahren gegenüber besitzt es den Vorteil, daß es unabhängig von Vertikalströmungen ist; sachgemäß ausgeführt, liefert es einwandfreie Werte und ist darin allen anderen Methoden überlegen, freilich auch umständlicher. Etwas einfacher kann die Messung der Windfaktoren in größeren Höhen dadurch geschehen, daß man während des Fluges abgeworfene Fallschirme vom Boden aus anvisiert; auch Rauchsignale sind wenigstens zu Schätzungen geeignet.

Alle diese Messungen sind von der Erde aus vorzunehmen; für eine direkte Bestimmung im Flugzeug selber kämen Abtriftmesser nach Art des auf S. 199 beschriebenen in Frage. Genaue Werte sind auf diese Weise wohl kaum zu erzielen.

b) Vertikalströmungsmesser.

Viel weniger durchgebildet ist die Bestimmung vertikaler Luftströmungen. Wenn letztere auch für den Flug selber nicht die Bedeutung besitzen wie für die Ballonfahrt, so ist ihre Kenntnis für Prüfungs- und Rekordflüge doch nicht ganz wertlos. Für Strömungen dicht am Boden ist das S. 130 dargestellte Vertikalanemometer brauchbar; aber gerade für größere Höhen fehlt es völlig an Hilfs-

[1]) Dies gilt nur in Bodenhöhe; in größeren Höhen wird der Zuwachs viel kleiner.

mitteln. So ist z. B. die Verwendung und unbemannter Pilotballons ganz ungeeignet hierfür; setzt doch das genannte Verfahren gerade das Fehlen vertikaler Strömungen als Bedingung voraus. Einzig der bemannte Freiballon besitzt im Barometer oder Variometer in Verbindung mit ausgestreuten Papierschnitzeln Mittel, diese Aufgabe zu lösen.

Auch vom Flugzeug aus entzieht sich die senkrechte Strömung der Ermittlung; das S. 130 beschriebene Verfahren ist noch nicht genügend entwickelt, um sie als Differenz der absoluten (barometrischen) und der relativen Steiggeschwindigkeit abzuleiten.

c) Böenmesser.

Viel bedeutungsvoller hinsichtlich der Betriebssicherheit ist das Auftreten von Böen. Eine zahlenmäßige Festlegung der Böenstärke ist bisher wohl kaum unternommen worden; ihre Definition erfolgt rein qualitativ. Von der Windstärke ist sie scharf zu unterscheiden; so treten z. B. Sonnenböen gerade bei Windstille auf. Eine Schätzung der Böigkeit in größeren Höhen kann vom Boden aus nur auf Grund allgemeiner meteorologischer Erfahrungen, also kombinierend, nicht messend erfolgen. In erster Linie geben Wolkenformen, weiterhin Sonnenschein, Tageszeit und Wind Anhaltspunkte.

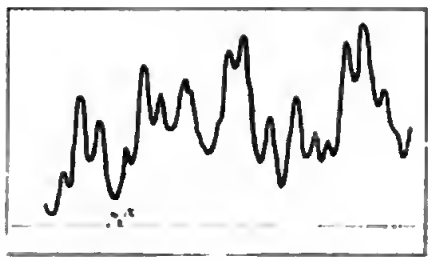


Abb. 382. Geschwindigkeitskurve eines Winddruckschreibers.

Für die Betriebssicherheit ist aber die Böenstärke über Boden ungleich wichtiger; somit wäre es eine dankbare Aufgabe, hier allgemeine Normen zu schaffen. Im folgenden sei ein Versuch gemacht.

Auf dem Diagramm eines Staudruckschreibers stellt sich die jeweilige Windbeschleunigung als Tangente α der Geschwindigkeitskurve dar, wie es etwa Abb. 382 zeigt; der zeitliche Mittelwert aller Tangenten, absolut genommen, gäbe somit ein zuverlässiges Maß der Böenstärke. Erfolgte nun die Mittelung von einem festgelegten Zeitpunkt aus, so würde die Vergangenheit ungebührlich lange mitgeschleppt werden und Änderungen der Böenstärke je später um so weniger sich bemerkbar machen. Man ist also gezwungen, die Messung immer nur über ein bestimmtes Zeitintervall auszudehnen. Der für die Böenstärke maßgebende Ausdruck lautet also in Formel:

$$\beta = \frac{1}{T} \int_0^T \left| \frac{dy}{dt} \right| dt \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Hierin bedeutet β die Böenstärke, t die Zeit, T die Meßdauer und y die durch den Staudruckmesser angezeigte Windgeschwindigkeit. Um Einheitlichkeit zu erzielen, wäre die Festsetzung einer zweckmäßigen Meßdauer T nötig; einmal muß sie so groß sein, daß eine größere Anzahl einzelner Windstöße innerhalb derselben erfolgt, andererseits so klein, daß die Böenstärke als Ganzes sich noch nicht wesentlich geändert hat. Man wird etwa eine Größenordnung von 5 bis 10 Minuten annehmen dürfen.

Zur praktischen Lösung der durch obige Formel gestellten Aufgabe kann man folgendermaßen vorgehen. Die Kurvenlänge der Geschwindigkeitskurve in Abb. 382 ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$\beta = \frac{1}{T}\int_0^T \sqrt{1+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}\,dt; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

darin ist $\frac{1}{T}$ als konstanter Faktor anzusehen, T selber das die Grenzen bestimmende Zeitintervall. Richtet man es nun so ein, daß $\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$ groß gegen 1 wird, was durch große Übersetzung des Zeigers und durch ein langsam laufendes Uhrwerk zu erzielen ist, so geht Gleichung (2) in Gleichung (1) über, d. h. die Länge der Geschwindigkeitskurve ist ein direktes Maß der Böenstärke. Die Konstruktion eines Böenmessers ergibt sich nunmehr von selbst. Denken wir uns einen Staudruckschreiber, an dessen Schreibspitze sich ein kleines Rollrad befindet, das sich jeweilig in die Richtung der Kurve einstellt und auf ihr abrollt, zugleich aber seine Umdrehungen auf ein Zählwerk überträgt, so haben wir die einfachste Form eines Böenmessers; man hätte dann nur nötig, den für gewöhnlich abgehobenen Zeiger auf seine Unterlage zu senken und ihn nach einer bestimmten Zeit T wieder aufzuheben, was durchaus mechanisch geschehen kann. Grundsätzlich könnte man sogar auf die Fortbewegung der Unterlage verzichten, käme dann aber in konstruktive Schwierigkeiten wegen der Funktion des Rollrades.

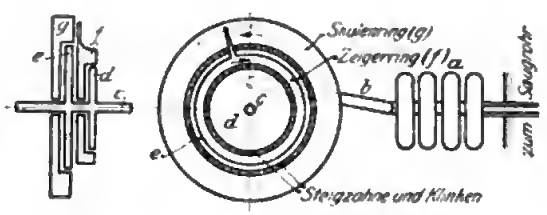


Abb. 383.
Schema eines Böenmessers nach Bennewitz.

Diese Form scheint indessen noch nicht die vorteilhafteste zu sein; an ihrer Stelle wollen wir eine Durchführung etwas näher betrachten, die von manchen Mängeln der oben angedeuteten Lösung frei ist; sie wurde vom Verfasser angegeben.

Abb. 383 stellt eine Skizze dieser Idee dar. Ein kräftig wirkendes Venturisaugrohr vermag mittels Dose a und Hebelwerks b eine Achse c zu drehen, die an Stelle eines Zeigers zwei gegenzahnige Steigräder d und e trägt; jedes derselben vermag je einen zentrisch angeordneten und mit Sperrklinken versehenen Ring f und g mitzunehmen, der seinerseits wieder gesperrt ist (was in der Abbildung nicht angedeutet ist). Bei einer Rechtsdrehung wird sich beispielsweise Ring f drehen, während g stehen bleibt; bei einer Linksdrehung wird f an seiner einmal erreichten Stelle stehenbleiben, während nunmehr Ring g sich entgegengesetzt dreht. Ring f trägt einen Zeiger, Ring g eine unter ersterem liegende Skala. Die Wirkungsweise ergibt sich nunmehr von selbst; die Addition der absoluten Geschwindigkeiten erfolgt hier in völlig einwandfreier Weise und ist auch technisch ohne Schwierigkeiten durchführbar. Die selbständige Ein- und Ausschaltung (Meßzeit) wird am einfachsten durch Öffnen und Schließen des Druckrohrs mit Hilfe eines Uhrwerks

bewirkt (das auch jedesmal die Nullstellung wieder herbeiführt). Auf eine vom wissenschaftlichen Standpunkt wichtige Frage, die die Zahngröße der Steigräder betrifft, soll hier nicht eingegangen werden. Jedenfalls stellte dieses Instrument eine Bereicherung des meteorologischen Geräts dar, das dem Flieger nur dienlich sein könnte.

Eine weitere Form eines Böenmessers ist von R. Seeliger, Physik. Zeitschr. **20**, 403—407 (1919) angegeben worden. Bei diesem Instrument beschränkt man sich auf die Notierung der Geschwindigkeitskurve und faßt die maximale Amplitude als Maß der Böigkeit auf. Bei dieser Art der Bestimmung scheint eine gewisse Willkür unvermeidbar zu sein, weshalb wir der oben erörterten Definition den Vorzug geben; zum Begriff der Böenstärke gehört nach unserer Auffassung nicht nur die Größe der Amplitude, sondern auch ihre Häufigkeit. Zwischen beiden bestehen übrigens Beziehungen, über die wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtungen Aufschluß geben dürften.

d) Temperaturmessung (in Abhängigkeit von der Höhe).

Hilfsmittel zur Bestimmung der Temperaturen in größeren Höhen sind nicht bekannt, wenn man nicht das Flugzeug (oder den Freiballon) selber zu diesem Zwecke heranzieht. In Anbetracht dessen, daß diese Temperaturen schnellen Wechseln kaum unterworfen sind, scheint dieses Verfahren das gegebene; zur Fixierung benutzt man Thermographen. Im allgemeinen wird man sich der gebräuchlichen Konstruktionen bedienen können, und da bisher nur wenig Erfahrungen vorliegen, seien nur die wesentlichsten Punkte berührt.

Thermographen verwenden fast durchweg Bimetallstreifen; um die nötige Genauigkeit der Anzeige zu erzielen, sind diese ziemlich lang gehalten. Solche Systeme besitzen aber eine große Empfindlichkeit gegenüber Erschütterungen. Flugzeuginstrumente dieser Art müssen also starke Dämpfung besitzen, wenn sie überhaupt brauchbar sein sollen. Da nun Bimetallstreifen große Kräfte entwickeln können, wäre es vorzuziehen, sie kleiner zu wählen und mit einer genügenden Übersetzung zu versehen. Noch besser scheint es, die beiden Metalle voneinander zu trennen und einzeln auf das Hebelwerk wirken zu lassen. Man vermeidet so die Durchbiegung und die damit verbundene schädliche Elastizität des Systems. Über die schreibenden Teile des Apparats sei auf die ausführlichen Erörterungen bei den Höhenschreibern (S. 101 ff.) hingewiesen.

Betreffs der wissenschaftlichen Bedeutung der Messung von Höhentemperaturen hinsichtlich der Wettervoraussage hat Verfasser den Eindruck, als wenn sie zur Zeit noch zu wenig beachtet würde. Beispielsweise ist nach zahlreichen Erfahrungen das Vorhandensein einer Inversionstemperatur, d. h. einer lokalen Zunahme der Temperatur mit der Höhe, ein untrügliches Zeichen eines Witterungsumschlags.

e) Wolken- und Dunstbestimmung.

Bereits oben war auf die Ermittlung der Wolkenhöhe hingewiesen worden, als es sich um die Bestimmung der Windverhältnisse in höheren Schichten handelte;

Digitized by Google

aber wichtiger als zu diesem Zweck ist ihre Kenntnis aus allgemeinen fliegerischen Gründen. Zur Zeit besitzen wir jedoch noch kein zuverlässiges Hilfsmittel. Ein Anschneiden mit Theodolithen verbietet sich, weil es an scharf definierten Zielpunkten fehlt. Aus dem Zuge der Wolken kann man auf die Höhe wieder nur schließen, wenn die betreffende Windstärke bekannt ist.

Im übrigen ist die Wolkenhöhe insofern nicht vollständig definierbar, als es sich häufig um mehrere Wolkenschichten verschiedenster Höhe handelt. Für die Durchführung eines Fluges ist die unterste dieser Schichten zwar von größerem Interesse, weil sie einen Maßstab für die Orientierungsmöglichkeit am Gelände bildet; bisweilen jedoch ist die obere Wolkengrenze von Bedeutung, nämlich dann, wenn die Bewölkung so tief herabreicht, daß ein Fliegen unter der Wolkendecke nicht mehr ratsam ist. Man bemüht sich alsdann, die Wolkenschicht nach oben zu durchstoßen, wobei man den Nachteil der erschwerten Orientierung gegen den Vorteil eines böenfreien Fluges eintauscht.

Für die Ermittlung dieser verschiedenartigen Schichten stehen uns, wenn wir von der Verwendung des Flugzeugs selber absehen, bisher noch keine Hilfsmittel zur Verfügung. Lediglich können uns allgemeine meteorologische Erfahrungen einige Anhaltspunkte liefern.

Aber nicht nur geschlossene Wolkendecken, sondern auch Dunstschichten sind für die Orientierung hinderlich; bei einiger Erfahrung lassen sie sich jedoch vom Boden aus beurteilen. Ein praktisches Verfahren, das keiner weiteren Hilfsmittel bedarf, wurde vom Verfasser häufig mit Erfolg angewendet. Es besteht in folgendem:

Angenommen, es herrsche Bodendunst mittlerer Dichte, so äußert sich dieser für den Flieger darin, daß die Sicht senkrecht nach unten noch durchaus klar ist, während sie um so mehr abnimmt, je flacher der Sichtwinkel wird. Die Grenze der Sicht ist meistens so scharf ausgebildet, daß man direkt von einem Grenzsichtwinkel sprechen kann, den man von der Senkrechten ab rechnet. Dieser Winkel ist nun noch abhängig vom Azimut; und zwar in dem Sinne, daß er gegen die Sonne wesentlich kleiner ist als mit der Sonne. Diese Verhältnisse lassen sich mit einiger Übung vom Boden aus abschätzen; man beobachtet nämlich unter den gegebenen Umständen, daß sich die blaue Färbung des Zenits nach dem Horizont zu immer mehr verliert; die Grenze, bei der das Himmelblau in ein unbestimmtes Grau übergeht, ist dabei meistens scharf ausgesprochen. Sie bildet mit der Vertikalen einen wiederum vom Azimut abhängigen Winkel; es zeigt sich nun, daß dieser Winkel dem oben definierten Grenzsichtwinkel im allgemeinen gleich ist. Somit besitzt man hierin ein Mittel, die Sichtverhältnisse vom Boden aus zu beurteilen.

f) Ionisationsmesser.

Die Kenntnis des elektrischen Zustandes der Atmosphäre ist für den Flug selber von untergeordneter Bedeutung; die praktische Frage, ob elektrische Aufladung und damit verbundene Funkenerscheinungen eine Gefahrenquelle für das Flugzeug bedeuten, muß nach den bisherigen Erfahrungen verneint werden.

Andererseits hat die Meteorologie ein erhebliches Interesse an der Erforschung der elektrischen Verteilung in der Luft. Somit ist hier das Flugzeug lediglich das Mittel zum Zweck, und die Fragen, die sich daran knüpfen, gehören nicht hierher. Es wird auf die zahlreiche Fachliteratur hingewiesen, in der in erster Linie das Problem der Ionisierung der Luft behandelt wird. Daß die Ergebnisse dieser Forschungen der Wetterkunde und somit indirekt dem Fluge zugute kommen, sei deshalb erwähnt, weil es die Aufgaben der Fliegerei um eine weitere vermehrt.

Neuere Literatur über meteorologische Geräte: H. G. Cannegieter. Het Vliegveld 4, 57—59 (1920).

Abschnitt VI.

Einbau der Instrumente.

Für den Einbau der Instrumente sind folgende Gesichtspunkte maßgebend:

1. Auswahl der mitzunehmenden Instrumente,
2. Verteilung auf Führer und Beobachter oder beide gleichzeitig,
3. Auswahl des Platzes unter Berücksichtigung guter Sichtbarkeit, bequemer Bedienung, individueller Eigenschaften des einzelnen Geräts und nicht zuletzt einfacher Montagemöglichkeit.

Es ist nicht möglich, ein für alle Zwecke passendes Schema anzugeben, immerhin aber sollte mit der Zeit eine gewisse Einheitlichkeit zu erzielen sein. Ebenso wichtig wie eine Einheitsbestückung mit Gas- und Zündhebel ist die einheitliche Gruppierung des anzeigenden Geräts. Der leitende Gesichtspunkt ist der, daß das wichtigste Instrument frontal vor der Mitte des Insassen, die anderen, nach ihrer Wichtigkeit abgestuft, daneben oder darunter angebracht werden. So gehört der Drehzähler direkt vor das Auge des Führers. Sind mehrere Motoren zu bedienen, so wird man die zugehörigen Drehzähler möglichst symmetrisch, der Lage der Motoren entsprechend, zu einer Gruppe vereinigen. Handelt es sich um ein mit Neigungsmesser ausgerüstetes größeres Flugzeug, so verlangt auch dieses Gerät zentrale Unterbringung, am besten in Augenhöhe über dem Drehzähler. Bei Großflugzeugen, bei denen der Kurs durch den Kommandanten vorgeschrieben wird (Selenkompaß, Abtriftmethoden wie im Kapitel „Kompasse), verdient ebenfalls dieses Weisergerät den Vorzug; gleiches gilt von allen optischen Befehlsübermittlungen, z. B. Glühlampen usw. Auch der Fahrtmesser gehört, soweit er als Längsneigungsmesser Verwendung findet, zu den gut zu placierenden Anzeigern. Grundsätzlich wäre auch der Kompaß hierunter zu erwähnen, nur zwingen bisweilen Platzmangel oder ungünstige magnetische Verhältnisse zu einem Verzicht darauf, Dinge, die bereits im Kapitel „Kompasse“ eingehend besprochen sind.

Alle anderen Instrumente sind insofern als untergeordnet anzusehen, als sie nicht eine dauernde Beobachtung beanspruchen. Immerhin ist zu berücksichtigen, daß das Gesichtsfeld des durch seine Brille behinderten und meistens angeschnallten Führers nur klein ist, so daß also z. B. eine am Boden des Sitzes untergebrachte Benzinuhr oder ein dicht über dem Kopf aufgehängter Höhenmesser als unzweckmäßig vermieden werden müssen.

Bleiben wir zuerst bei der Gruppe der „Frontalgeräte“, die wir nochmals zusammenfassen wollen.

Drehzahlmesser (nach der Zahl der Motoren 1, 2 oder mehr).
Neigungsmesser (Kreisel, Libelle).

Digitized by Google

Fahrtmesser (Staudruck-).
Befehlsübermittler (Selenkompaß, Maschinentelegraph).
Warnlampen (Kühlwasserthermometer, Kabelspannung).

Wollte man ganz radikal vorgehen, so könnte man versucht sein, alle diese Schaubilder auf einer Frontplatte organisch zu vereinigen. Einmal sparte man Platz und zweitens erzielte man eine Vereinheitlichung des Bildes, die dem Flieger in Fleisch und Blut überginge, so daß ein Wechsel des geflogenen Flugzeugtyps wenigstens in dieser Beziehung gar nicht zum Bewußtsein käme.

Dem stehen aber mehrere Bedenken gegenüber. Einmal wird es unvermeidlich sein, daß die Fabrikation der einzelnen Geräte durch verschiedene Firmen

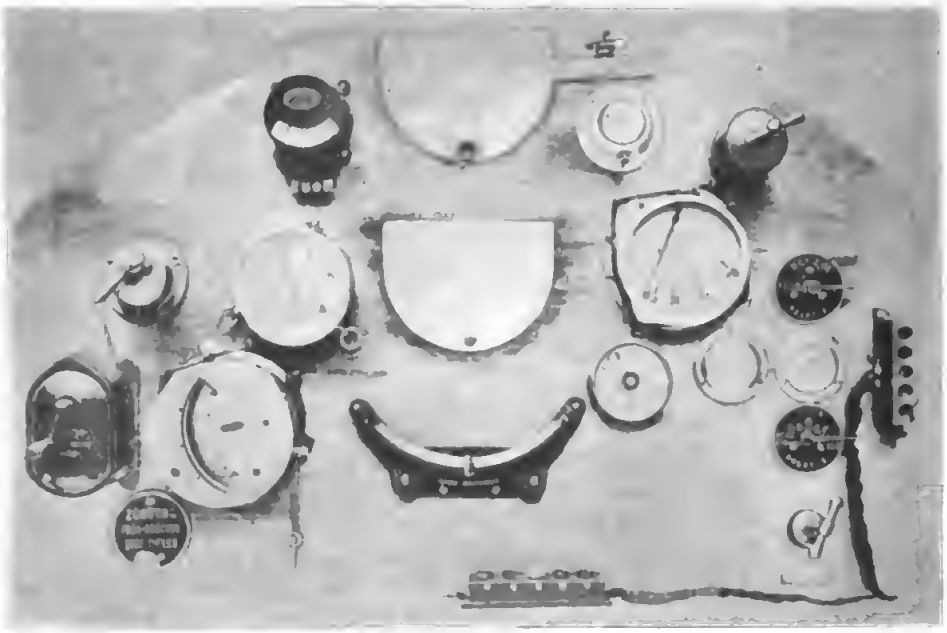


Abb. 384. Fehlerhafter Einbau.

erfolgt. Jede derselben besitzt ihre besonderen Erfahrungen auf ihrem Spezialgebiet, und es bedeutete einen Rückschritt, wollte man diese Spezialisierung nun wieder rückgängig machen; ganz abgesehen von den mancherlei Reibungen, die ein solches Verfahren hervorrufen würde. Ein weiteres Bedenken besteht in folgendem. Sämtliche oben aufgezählten Kategorien bestehen aus je zwei instrumentellen Teilen, Geber und Empfänger; vereinigt werden sollen nur die Schaubilder, während die Geber (Motorwelle, Dynamo, Staurohr, Selenkompaß, Thermometer usw.) über das ganze Flugzeug verteilt sind. Geber und Empfänger müssen aber aufeinander abgestimmt sein; versagt nun ein Gerät, so ist in fast allen Fällen der Austausch beider Teile, also auch des Anzeigers, notwendig. Sind diese aber sämtlich miteinander verschmolzen, so wird das zur Unmöglichkeit. Schon früher machten wir auf diese Folge aufmerksam, nämlich bei dem Doppelanzeiger für Drehzähler. Der Defekt eines Geräts würde den Austausch aller nach sich ziehen.

Digitized by Google

Aus diesen Gründen wird man wohl von der Verschmelzung der Anzeiger im höheren Sinne absehen müssen, so reizvoll gerade diese Aufgabe für einen Flugpsychologen auch wäre. Es bleibt aber trotzdem noch genug zu ordnen übrig.

Man wird sich also darauf beschränken müssen, die einzelnen Instrumente bezüglich ihrer Schaubilder nach einheitlichen Gesichtspunkten auszubauen und diese dann geschickt zu gruppieren. Was das erstere betrifft, so sind die Anfänge dazu bereits geschehen und in den den einzelnen Kapiteln beigegebenen Normalzifferblättern festgelegt worden. Noch befriedigen diese nicht völlig; Umstellungen

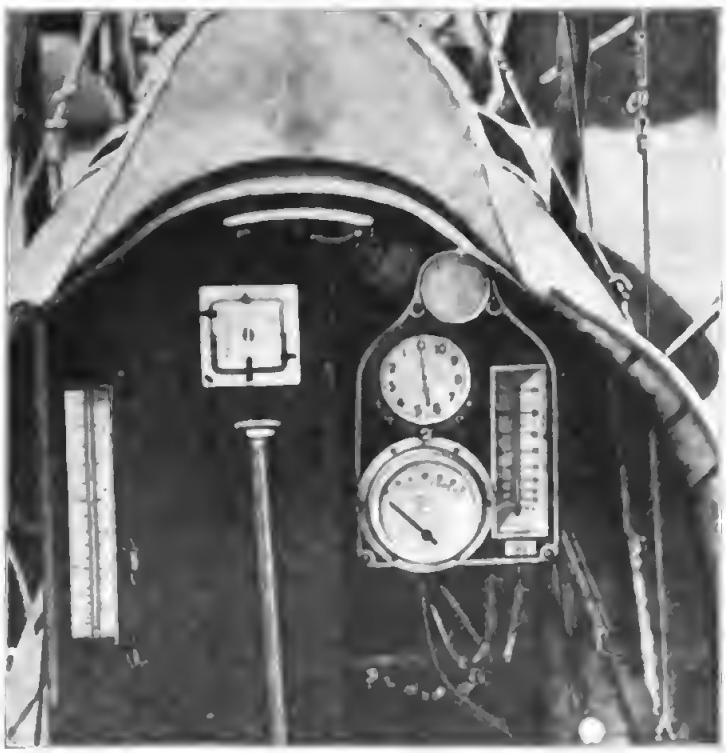


Abb. 385. Englischer Einbau.

verboten sich aber aus Gründen der Dringlichkeit. Es ist zwar selbstverständlich, kann aber nicht oft genug betont werden, daß die Skalenscheibe kein Tummelplatz für geistreiche Reklame sein darf. Eine Beschriftung, wie etwa:

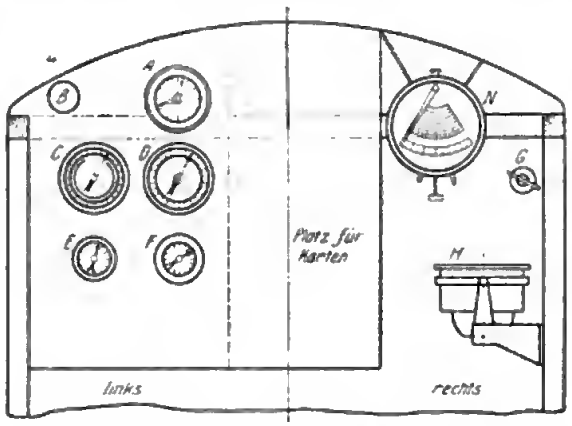
Patentventuristaudruckmesser
der A. & B.-Aktiengesellschaft.
Anzeige in Kilometern/Stunde.
Geschützt in allen Kulturstaaten.

hat ihren Beruf vollkommen verfehlt; und doch konnte man bis vor kurzem solche Entgleisungen überall finden. Statt dessen muß es heißen:

Fahrt	oder	Drehzahl	oder	Höhe
km/st.		pro Std.		km

Über die Anordnung der Ziffern ist in den einzelnen Kapiteln manches enthalten. Es ist z. B. die Frage, ob man nicht etwa alle Zifferblätter gleichsinnig und gleichbeginnend anordnen soll. Das in Frankreich versuchte Verfahren, die Ziffern so zu ordnen, daß in der normalen Gebrauchsstellung alle Zeiger nach oben gerichtet sind, ist zum mindesten nicht von der Hand zu weisen. Bei den Neigungsmessern ist es vice versa längst durchgeführt, weil es da als selbstverständlich erscheinen mußte.

Andererseits ist es nicht von Vorteil, wenn alle Zifferblätter einander gleichen wie ein Ei dem andern. Numerierung hilft gar nichts, noch viel schlimmer sind verschiedenartige Färbungen der Blätter. Symmetrien in der Gruppierung dürfen nicht aus ästhetischen Rücksichten geschaffen werden, wenn die auf gleiche Stufe gestellten Skalen nicht in Beziehung zueinander stehen.



A Borduhr.
B Sprachrohr.
C Drehzahlmesser.
D Benzinuhr.
E Benzinmanometer.
F Ölmanometer.
H Kompaß.
N Fahrtmesser.

Abb. 386. Normaleinbau in Marineflugzeugen.

Alles was wir über die Gruppe der „Frontalgeräte" gesagt haben, gilt in gleicher Weise von der zweiten Gruppe der „Hilfsgeräte". Dazu gehören:

Manometer (Benzin-, Öl-),
Benzinuhr,
Batterievoltmeter und ähnliches.

Diese wird man je nach dem vorhandenen Platze unter oder neben der ersten Gruppe anbringen; für sie gilt vielleicht vorteilhaft die Regel, sie in der Nähe der Organe unterzubringen, die sie betreuen. Natürlich ist eine Zersplitterung zu vermeiden; die Kontrolle über sie muß mit einem Blick geschehen können und darf nicht zum Ostereiersuchen ausarten.

Die noch übrigbleibenden Instrumente spielen eine Sonderrolle. Der Höhenmesser, als das Symbol des Fliegers, hat sich seinen Sonderplatz erobert, und es wäre falsch, ihn in die Reihe der anderen einzuordnen; man verweise ihn definitiv in den Spannturm, schon um seiner subtilen Aufhängung willen. Im Eindecker freilich ist sein Platz noch nicht gefunden. Für den Kompaß und das Schalenkreuz ist der Ort meistens durch die Bauart bestimmt; vielleicht daß ein Trommelkompaß oder etwas Ähnliches einmal dem Grundsatze der bequemen Ablesbarkeit untergeordnet werden kann.

In der Abb. 384 ist eine Anordnung gegeben, wie sie den hier besprochenen Gesichtspunkten — nicht entspricht. Etwas günstiger ist der Einbau Abb. 385, bei dem wenigstens eine Gruppe zusammengefaßt ist. Bei der Einbauskizze (Abb. 386) für Marineflugzeuge sind die Motorinstrumente auf die linke, die Navigationsinstrumente auf die rechte Seite des Brettes verlegt. Der Fortschritt liegt auf der Hand; ob jedoch diese Anordnung immer durchführbar ist, scheint zweifelhaft zu sein.

Eine einheitliche Verteilung kann erst dann vorgenommen werden, wenn das einzelne Gerät seine Standardform angenommen hat. Der Weg dahin ist noch weit; aber wenn die hier niedergelegten Ansichten ein wenig zur Klärung beigetragen haben sollten, ist der Zweck dieses Werkes erfüllt.

Verzeichnis der konstruktiv beteiligten Firmen.

Ahrendt & Heylandt, Berlin-Mariendorf.
Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (A. E. G.), Berlin.
Allgemeine Industrie-Gesellschaft (Alig), Berlin.
Alt, Eberhard & Jäger, Ilmenau i. Th.
Anschütz, Kiel.
Arnheim, Berlin.
Atmos-Werkstätten, G. m. b. H., Berlin.

Bamberg, Carl, Berlin-Friedenau.
Bäuerle & Sohn, St. Gallen.
Bäuerle, R., St. Gallen.
Berlin-Anhalt. Maschinenbau-A.-G. (Bamag), Berlin.
Bernheim, Frankfurt a. M.
Boehm, P. & Co., Berlin.
Bohne, Otto, Nachf., Berlin.
Böker & Krüger, Berlin-Neukölln.
Bosch, I. & A., Straßburg i. Els.
Bosch, Robert, Stuttgart.
Bundschuh, I., Magdeburg-West.
Busch, Carl I., & Co. (Wiskott), Berlin.
Busch, Emil, A.-G., Rathenow.

Deuta-Werke, Berlin.
Draeger-Werke, Lübeck.

Eckardt, I. C., Stuttgart-Kannstadt.
Eisemann, Ernst & Co., Stuttgart.
Erb, Heinrich, Beleuchtungsindustrie (Beli), Berlin.
Eydam & Krieger, Ilmenau i. Th.

Fademrecht, Curt, Berlin.
Firchow, Paul, Nachf., Berlin.
Flüssige Gase, A.-G., Kiel.
Fueß, R., Berlin-Steglitz.

Gesellschaft für nautische Instrumente, A.-G., Kiel.
Goerz, C. P., A.-G., Berlin-Friedenau.
Gradenwitz, R., Berlin.
Graß & Worff, Berlin.
Guggenheimer, Dr. Siegfried, Nürnberg.

Hartmann & Braun, A.-G., Frankfurt.
Hase, Dr. R., Hannover.
Hechelmann, Georg, Nachf., Hamburg.
Hirth, Hellmuth, Stuttgart-Kannstadt.
Höchster Farbwerke, A.-G., Höchst a. M.
Horn, Dr. Th., Leipzig-Großzschocher.
Huttenlocher & Krogmann, G. m. b. H., Köpenick.

Ihle, G. m. b. H., Berlin.

Jahn, Hermann, Ilmenau.
Junghans, A.-G., Schramberg.

Köhler, Arno, & Co., Schmiedefeld (Kreis Schleusingen).
Kreiselbau G. m. b. H., Berlin-Friedenau.
Kröplin, H. C., Bützow.
Krüger, Richard, Berlin.

Leitz, Ernst, Wetzlar.
Ludolph, W., Bremerhaven.
Lufft, G., Stuttgart.

Manoma-Apparate-Fabrik Erich & Graetz, Berlin.
Maximall-Apparate-Fabrik P. Willmann, Berlin.
Morell, W., Leipzig.

Optika, G. m. b. H., Berlin.
Ott, A., Kempten i. Bayern.

Pfadfinderkompaß und Flugzeugzubehör G. m. b. H., Johannisthal.
Pintsch, J., A.-G., Berlin.

Richter, Weil & Co., Frankfurt a. M.
Rosenmüller, Georg, Dresden.
Ruhstrat, Gebr., Göttingen.

Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau.
Schlegelmilch, Albert, Berlin.
Schlenker & Kienzle, Schwenningen.
Schneider, Dr.-Ing. & Co., Frankfurt a. M.
Scholz, Emil, Hamburg.
Sendtner, Michael, München.
Signal, G. m. b. H., Kiel.
Sorge & Sabeck, Berlin.
Siemens & Halske, A.-G., Berlin-Nonnendamm.

Tachometerbau Lehmbeck & Co., Berlin.
Taxameter Westendarp & Pieper (Bruhn), Berlin.
Tetzer, Reinhold, Berlin.

Varta-Akkumulatoren G. m. b. H., Berlin.
Voigtländer & Sohn, Braunschweig.

Weisse, Arno, Berlin.
Wichmann, Gebr., Berlin.

Zeiß, Carl, Jena.

Digitized by Google

Sachregister.

A

Abtriftkompasse 189.
Abtriftwinkel 188 ff.
Abwurftaschen 252.
Akkumulator n 222 ff., 235.
Akustische Höhenmessung 78.
Anemometer s. 201 ff., 308.
Anstellwinkelmesser 302.
Anstiegmesser 130.
Atemgerät 261 ff.
Atemmaske 271.
Atemschlauch 271.
Azetylenscheinwerfer 248.

B

Ballistische Höhenmessung 79.
Barographen 307.
Barothermographen 112.
Befehlsübermittler 282.
Beiwert (Venturirohr) 207.
Beleuchtung des Flugzeuges 229 ff.
— des Kompasses 171.
— des Landeplatzes 242 ff.
— der Libellen 138.
Benzinprüfer 303 ff.
Benzinuhren 48 ff.
Benzinuhrflansch 57.
Benzinwagen 54.
Beobachtungsferngläser 295 ff.
Beschleunigungsmesser 200, 217 ff.
Beschleunigungsschreiber 219.
Böenmesser 310.
Bombenzielfernrohre 198.
Borduhren 299 ff.
Bourdonrohre 81.
Brillen 289.

C

Croccogerät 200.

D

Dampfdruckthermometer 63, 70.
Dämpfung des Kompasses 165.
Deckenbeleuchtung 233.
Dekadenstreifen 114.
Deviation 156.
Diagrammstreifen 103, 114, 118.
Dichtemesser 112, 113.
Differentialdrehzahlmesser 35.
Dosen (Barometer-) 81.
Drakorubinprobe 306.
Drehzahlmesser 24 ff.
Drehzahlschreiber 29.
Dreiecksflug 216, 197, 199, 309.
Druckschwimmeruhren 53.
Dunstbestimmung 313.
Durchbiegungsmesser 220.

E

Eichung der Atemgeräte 275.
— der Drehzahlmesser 47.
— der Fahrtmesser 214.
— der Höhenmesser 114, 81.
— der Höhenschreiber 114, 81.
Einbau (Allgemeines) 315 ff.
— des Atemgeräts 270, 268.
— der Benzinuhren 49.
— der Drehzahlmesser 28.
— der Fahrtmesser 203, 204.
— der Flugzeugspiegel 287.
— der Höhenmesser 91, 92.
— der Höhenschreiber 109 ff.
— der Kompasse 157, 168.
— der Kühlwasserthermometer 68 ff.
— der Positionslichter 235.
— der Rampenlichter 236.
Elastische Nachwirkung 90, 116 ff.
Elektrische Benzinuhren 50.
— Ferndrehzahlmesser 38.
— Fernthermometer 64, 71.
— Höhenmessung 79.
— Leitungen 241.
— Regler 227.
— Schalter 238 ff.
— Sicherungen 223, 241.
— Zentrale 221.

F

Fahrtmesser 195 ff.
Fahrtschreiber 203, 214.
Federbeschleunigungsmesser 218.
Ferndrehzahlmesser 37.
Fernfahrtmesser 205.
Ferngläser 294 ff.
Fernkompasse 179, 183.
Fernthermometer 64, 71.
Feuersicherheit des Atemgeräts 262, 270.
Fliegerhorizont 142.
Fliehpendelgeräte 26, 203.
Flugplatzbeleuchtung 242.
Flugplatzzeiger 89.
Flüssige Luft 263, 268, 274.
Frequenzmesser 43.

G

Generatoren 148, 224 ff., 245, 276.
Glockenkompaß 174.

H

Handlampen 229.
Hebelwerk der Höhenmesser 83 ff.
— der Höhenschreiber 94 ff.
Hecklampen 234.
Heizbekleidung 277.
Heizgerät 275 ff.
Heizung des Atemgeräts 266, 278.
— der Kabine 279.
— des Kompasses 173, 278.
— des Maschinengewehrs 278.
Höhenformeln 80.
Höhenkorrektion (Fahrtmesser) 211 ff.
Höhenmesser 81 ff.
Höhenmessung (Allgemeines) 75 ff.
Höhenschreiber 94 ff.
Hönigsche Kreise 122.
Hörschläuche 280.
Hydrostatische Benzinwagen 53.

I

Induktionskompaß 151, 183.
Induktionsneigungsmesser 151.
Integrierende Drehzahlmesser 25, 36.
— Fahrtmesser 200.
— Höhenmesser 77.
Intermittierendes Variometer 129.
Ionisationsmesser 313.
Irisblenden 294.

K

Kartesischer Taucher 113.
Klarscheiben 291.
Klaxone 252.
Klopfgerät 282.
Kompasse 155 ff.
Kompaßfüllungen 172.
Kompensation (Kompasse) 156, 169, 190.
Kopplung der Generatoren 224.
Kreiselkompaß 155.
Kreiselneigungsmesser 133, 142.
Kühlwasserthermometer 62 ff.
Kursbestimmung 157, 184 ff., 200
Kursschieber 184 ff., 200.
Kursschreiber 159.
Kurszeiger (Kompaß) 158, 170.
Kurvenmesser 131, 146, 151 ff.

L

Landesvermessung 75, 79.
Landungsanzeiger 122.
Landungslichter 251.
Landungsmesser, barometr. 93.
— elektrische 123.
— mechanische 120.
— optische 120 ff.
Landungstor 122.
Landungsweiser 251.
Leiberbrillen 293.
Leistungsmessung 75, 112, 195, 216.
Leuchtfeuer (Orientierungs-) 246.
Leuchtkugeln 237, 258.
Leuchtmunition 258.
Libellen 138.
Linearmachung der Benzinuhren 51 ff.
— der Höhenmesser 83.
Luftpumpen zu Eichzwecken 118, 120.
Luftschraubenfahrtmesser 196.

M

Magnesiumfackeln 249.
Manometer 60 ff.
Markierungslichter 252.
Maschinentelegraph 284.
Masken 291.
Maultrommel 282.
Maximalbeschleunigungsmesser 219.
Maximalthermometer 62, 65.
Mehrfachdrehzahlmesser 42.
Meteorologische Geräte 307 ff.
Mißweisung 155, 159.

N

Nachwirkungskorrektion 90.
Navigation 155, 157, 184 ff., 189.

Digitized by Google

Neigungsmesser 131 ff.
Normalbarometer 118.
Normalien der Atemgeräte 269.
— der Benzinuhren 56.
— der Borduhren 299, 300.
— der Dampfdruckthermometer 70.
— der Drehzahlmesser 44.
— der Höhenmesser 81, 86 ff.
— der Höhenschreiber 101, 104.
— der Höhenschreiberdiagramme 103.
— der Kompasse 159, 165 ff.
— der Kühlwasserthermometer 65 ff.
— der Manometer 61.
— der Schalenkreuzfahrtmesser 205.
— der Staudruckfahrtmesser 213.

O

Optik der Leuchtfeuer 246, 247.
— der Scheinwerfer 243.
Optische Höhenmessung 78.
Orientierung 155, 246.
Orientierungskompaß 194.
Oszillograph 43.

P

Peilung 191 ff.
Pendelneigungsmesser 136 ff.
Photographische Höhenmessung 79.
Pilotballonverfahren 199, 309.
Pitotrohre 206.
Positionslampen 233.
Präzisionshöhenschreiber 111.
Prüfstand für Drehzahlmesser 45, 46.
— für Höhenmesser 119.

Q

Quecksilberbeschleunigungsmesser 218.
Quecksilberdrehzahlmesser 33.
„ feruthermometer 64.
„ thermometer 62.

R

Rampenlichter 236.
Rauchpatronen 252.
Rauchsignalgeräte 258.
Regulierung der Atemgeräte 262, 265, 268.
Reibraddrehzahlmesser 34.
Reisekompaß 158, 187, 200.
Rohrpost 285.

S

Sauerstoffbomben 261, 269.
Schalenkreuzfahrtmesser 201 ff., 308.
Schalenkreuzkurvenmesser 154.
Schaugläser 48.
Scheinwerfer 249 ff.
Schreibhebel 101, 102.
Schriftübermittler 285.
Schüttelvorrichtungen 115.
Schwimmeruhren 48 ff.
Seilpost 285.
Seitensichtkompasse 157, 174 ff.
Selenkompaß 179 ff.
Servomotoren 65, 221.
Signalgeräte 252 ff.
Signalscheinwerfer 254 ff.
Sirenen 252.
Soffittenlampen 231.
Sonnenbrenner 250.
Spannungsmesser 219.
Spiegel 286 ff.
Spiegelkompaß 174, 179.
Stablampen 229.
Startschutz 289.
Statometer 129.
Staudruckfahrtmesser 196, 197, 206 ff.
Staudruckfahrtschreiber 214.
Staudruckkurvenmesser 151 ff.
Staudrucktabelle 215.
Steigleistungsmessung 112.
Steuerzeiger 146.
Stoppuhren 301.
Stromquellen 222, 224.
Strömungsuhren 54.
Summer 281.

T

Tachometer s. Drehzahlmesser.
Telephone 281.
Temperaturkorrektion (Höhenmesser) 91
Temperaturmessung 312.
Theodolit 298.
Thermofarben 65.
Thermographen 307.
Thermoregler 65.
Thermorezipient 215.
Toleranzlehre (Diagramme) 118.
Tourenzähler s. Drehzahlmesser.
Transportgefäße (Flüssige Luft) 272.
Triangulation 199.
Tripelspiegel 257.
Triplexgläser 293.
Trockenkompaß 159.
Trommelkompaß 175 ff.
Tuchzeichen 260.

U

Überfüllgerät (Flüssige Luft) 273.
Umdrehungszeitanzeiger 108.
U-Rohre 140.

V

Variometer 123 ff., 129.
Variometertheorie 126.
Venturirohre 206, 207.
Verschwindlinien 188.
Verspannungsmesser 303.
Verständigungsgerät 280 ff.
Vertikalanemometer 129, 131, 309.
Vertikalsichtfernrohre 198.
Vorhaltwinkel 188, 189.

W

Warnlampen 62, 149, 219.
Warnmarken 2 3.
Weingeistthermometer 63, 69.
Wellen, biegsame 44.
Winddreieck 184 ff., 187, 200.
Windfahnen 308.
Windgeschwindigkeitsmesser 199.
Windmessung 308.
Windschutz (Ferngläser) 295.
Winkelsichtfernrohre 198.
Wirbelstromdrehzahlmesser 30.
Wolkenbestimmung 312.
Wolkenspiegel 308.

Z

Zadebrillen 293.
Zählwerke 47.
Zwangläufige Drehzahlmesser 25, 36, 43.

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.
Lutherstraße Nr. 14 BERLIN W 62 Fernspr.: Amt Lützow 5147

Soeben erschien:

Neu! Band IX **Neu!**

von

Handbuch der Flugzeugkunde

unter Mitwirkung des Reichsamts für Luft- und Kraftfahrwesen herausgegeben von F. Wagenführ, Major und Kommandeur der Flugzeugmeisterei

Funkentelegraphie für Flugzeuge

von

Erich Niemann

Oberleutnant und Kommandeur der Flieger-Funker-Versuchsabteilung der Flugzeugmeisterei

410 Seiten in Lexikon-Oktav mit 343 Abbildungen im Text

Preis in Halbleinen gebunden 150 Mark

✻

INHALT:

Vorwort.

Abschnitt I: Rückblick auf die Entwicklung der Funkentelegraphie von ihren ersten Anfängen bis Kriegsausbruch und Stand der damaligen F.-T.-Technik.
. II: Allgemeine Erfahrungen bezüglich der Konstruktionsgrundsätze beim Bau von Flieger-F.-T.-Geräten während des Krieges.
. III: Die herabhängenden Flugzeugantennen.
. IV: Die festeingebaute Flugzeugantenne.
. V: Die Kathodenröhre.
. VI: Mechanische und pneumatische Relais.
. VII: Fernhörer.
. VIII: F.-T.-Bordgerät nach dem System des tönenden Löschfunkens.
. IX: F.-T.-Bordgerät nach dem System des Röhrensenders.
. X: F.-T.-Bodenstationen als Gegenstationen für Flugzeuge.
. XI: Die F.-T.-Peilung von Flugzeugen.
. XII: Einwirkung größerer Flughöhen auf das F.-T.-Bordgerät.
. XIII: Flieger-F.-T.-Gerät des Auslandes.
. XIV: Verschiedene Probleme.
. XV: Literaturverzeichnis. Register.

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.

Berlin W 62, Lutherstraße 14 — Fernspr.: Amt Lützow 5147

Autotechnische Bibliothek

Bd.

1. **Anleitung und Vorschriften für Kraftwagenbesitzer und -führer,** nebst Fragen und Antworten für die Prüfung. Von Max R. Zechlin. 320 Seiten mit 32 Abbildungen. 6. vermehrte und verbesserte Auflage. M. 16.—
2. **Automobil-A-B-C.** Ein Reparaturenbuch in alphabetischer Reihenfolge von B. von Lengerke und R. Schmidt. 5. Auflage. 270 Seiten mit 162 Abbildungen im Text. M. 12.—
3. **Die Kunst des Fahrens.** Von B. Martini. 170 Seiten mit 105 Abbildungen. M. 10.—
4. **Automobil-Touristik.** Von B. Martini. 180 Seiten mit 47 Abbildungen im Text. M. 10.—
5. **Automobil-Karosserien.** (I. Teil: Karosserieformen.) Von Wilh. Romeiser, Automobil-Ingenieur. 150 Seiten mit 90 Abbildungen im Text. (Vergriffen. Siehe Bd. 57.)
6. **Das Automobil und seine Behandlung.** Von Zivilingenieur Julius Küster in Berlin. 8. Auflage. 380 Seiten mit 218 Abbildungen im Text. M. 16.—
7. **Der Automobil-Motor.** Von Ingenieur Theodor Lehmbeck in Berlin. 230 Seiten mit 97 Abbildungen im Text. 6. verbesserte Auflage. M. 16.—
8. **Automobil-Getriebe und -Kupplungen.** Von Ingenieur Max Buch. 3. Auflage. M. 14.—
9. **Die elektrische Zündung bei Automobilen, Motorfahrrädern, Motorbooten und Luftfahrzeugen.** Von Ingenieur Josef Löwy in Wien. 5. verbesserte und stark vermehrte Auflage. 310 Seiten mit 184 Abbildungen im Text. M. 12.—
10. **Automobil-Vergaser.** Von Johannes Menzel, staatlich geprüfter Bauführer in Berlin. 300 Seiten mit 170 Abbildungen im Text. 4. völlig umgearbeitete Auflage von Ingenieur A. König in Charlottenburg. (Neue Auflage in Vorbereitung.)
11. **Automobil-Steuerungs-, Brems- und Regulierungs-Vorrichtungen.** Von Ingenieur Max Buch. 2. Auflage, bearbeitet von Th. Lehmbeck. (z. Z. vergriffen.)
12. **Der Lastwagen-Motor.** Von M. Albrecht† 4. Auflage völlig neu bearbeitet von Ing. Herm. Augsburger in Braunschweig. 400 Seiten mit 321 Abbildungen im Text. M. 20.—
13. **Automobil-Rahmen, -Achsen und -Federung.** Von Ingenieur Max Buch. 2. Auflage, bearbeitet von Th. Lehmbeck. 140 Seiten mit 128 Abbildungen. (Vergriffen.)
14. **Das Nutzautomobil.** Von Ingenieur H. Augsburger. 2. Aufl. 280 Seiten mit 200 Abbildungen und vielen Tafeln. M. 18.—
15. **Das Motorboot und seine Behandlung.** Von M. H. Bauer. (Jetzt Motorschiff-Bibl. Bd. 2.)
16. **Das Elektromobil und seine Behandlung.** Von Ingenieur Josef Löwy. (z. Z. vergriffen.)
17. **Personen- und Lastendampfwagen.** Von Zivil-Ingenieur Julius Küster in Berlin. 234 Seiten mit 170 Abbildungen im Text. M. 15.—
18. **Das Motorrad und seine Behandlung.** Von Ingenieur Walter Schuricht in München. 250 Seiten mit 195 Abbildungen im Text. 4. verbesserte und vermehrte Auflage. M. 12.—
19. **Automobilmotor und Landwirtschaft.** Von Theodor Lehmbeck, Ingenieur in Berlin. 170 Seiten mit 121 Abbildungen im Text. 2. Auflage von O. Barsch. M. 12.—
20. **Der Automobilmotor im Eisenbahnbetriebe.** Von Ingenieur Arnold Heller. 116 Seiten mit 82 Abbildungen im Text. M. 15.—
21—24. **Viersprachiges Autotechnisches Wörterbuch.**
Deutsch-Französisch-Englisch-Italienisch. 240 Seiten. (2. Auflage.) (Bd. 21.) (Vergr.)
Französisch-Deutsch-Englisch-Italienisch. 131 Seiten. (Bd. 22.) M. 12.—
Englisch-Deutsch-Französisch-Italienisch. 207 Seiten. (Bd. 23.) (Vergriffen.)
Italienisch-Deutsch-Französisch-Englisch. 200 Seiten. (Bd. 24.) M. 12.—
25. **Deutsche Rechtsprechung im Automobilwesen.** Von Diplom-Ingenieur A. Bursch und Zivil-Ingenieur Julius Küster. 190 Seiten. M. 12.—
26. **Automobil-Rennen und Wettbewerbe.** Von B. von Lengerke. 168 Seiten mit 85 Abbildungen im Text. (z. Z. vergriffen.)
27. **Leichte Wagen bis inkl. 10 Steuer-PS.** Von B. Martini. 3. Auflage, bearbeitet von C. O. Ostwald. (z. Z. vergriffen.) Siehe Bd. 51.
28. **Chauffeurschule.** Theoretische Einführung in die Praxis des berufsmäßigen Wagenführers. Von Julius Küster, Zivilingenieur in Berlin. 5. verbesserte Auflage. 320 Seiten mit 180 Abbildungen im Text. M. 12.—
29. **Wagenbautechnik im Automobilbau.** Von Wilh. Romeiser, Automobilingenieur. 96 Seiten mit 64 Abbildungen im Text. (z. Z. vergriffen, vgl. Bd. 57.)

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co., Berlin W 62, Lutherstr. 14

Autotechnische Bibliothek

Bd.

30. **Patent-, Muster- und Marken-Schutz in der Motoren- und Fahrzeug-Industrie.** Bearbeitet von Julius Küster, Zivilingenieur in Berlin 323 Seiten und 4 Abbildungen. M. 12.—
31. **Der Motor in Kriegsdiensten.** Von W. Oertel. 157 Seiten mit 20 Abbildungen i. Text. M. 12.—
32. **Motor-Jachten,** ihre Einrichtung und Handhabung. Von H. de Méville. 2. Aufl. (Motorschiffahrt Bd. 6.)
33. **Das moderne Automobil, Konstruktion und Behandlung.** Von B. Martini. 6. verbesserte Auflage. 280 Seiten mit 202 Textabbildungen. M. 12.—
34. **Praktische Chauffeurschule.** Von Zivilingenieur B. Martini. 300 Seiten mit 213 Textabbildungen und 3 Tafeln. 5. verbesserte Auflage. M. 12.—
35. **Taschenbuch der Navigation für Motorbootführer.** Von H. de Méville. (Nautikus.) (Vergriffen.)
36. **Das Cyclecar.** Von Otto Lehmann. 190 Seiten mit 136 Abbildungen im Text. M. 14.—
37. **Motor-Luftschiffe.** Von Ingenieur Ansbert Vorreiter in Berlin. 2. Aufl. (Vergr.)
38. **Rezeptchemie für Autler.** Von Wa. Ostwald, Großbothen in Sachsen. 300 Seiten mit Abbildungen, Tabellen usw. M. 12.—
39. **Autler-Chemie.** Von Wa. Ostwald, Großbothen in Sachsen. (Vergriffen, siehe Bd. 38.) (Neuauflage in Vorbereitung.)
40. **Autler-Elektrik.** Von Wa. Ostwald, Großbothen. 256 Seiten mit 124 Abbildungen und 1 Tafel. M. 14.—
41. **Räder, Felgen und Bereifung.** Von Max Buch und R. Schmidt. 240 Seiten mit 197 Abbildungen. 2. Auflage. M. 12.—
42. **Kühlung und Kühlvorrichtungen von Motorwagen.** Von A. Bauschlicher. 140 Seiten mit 53 Abbildungen. (2. Auflage in Vorbereitung.) Ca. M. 10.—
43. **Anlassen und Anlaßvorrichtungen der Verbrennungsmotoren.** Von Ingenieur König, Berlin. 160 Seiten mit 71 Abbildungen im Text. (z. Z. vergriffen.)
44. **Schmierung und Schmiervorrichtungen.** Von A. Bauschlicher. 160 Seiten mit 74 Abbildungen. (Vergriffen.)
45. **Ankauf und Unterhaltung gebrauchter Kraftwagen.** Von Ingenieur A. König. 160 Seiten. M. 12.—
46. **Magnetelektrische Zündapparate für Explosionsmotoren.** Von E. Schimek. 2. Auflage. 228 Seiten mit 112 Abbildungen und 23 Tafeln. 3. Auflage. M. 16.—
47. **Chauffeurkursus.** Von Ingenieur A. König. 400 Seiten mit 167 Abbildungen. 6. verbesserte Auflage M. 14.—
48. **Automobil-Beleuchtung.** Von Ing. Jos. Löwy. 130 Seiten mit 118 Abb. (Vergriffen.)
49. **Die Zweitaktmotoren** und ihr Anwendungsgebiet. Von Hans Ledertheil, Zivilingenieur. 2. Aufl. 240 Seiten mit 166 Abbildungen. 3. Auflage. M. 16.—
50. **Moderne Automobilkühler.** Von R. Hofmann. 120 Seiten mit 68 Abbildungen. M. 10.—
51. **Autokauf.** Von Ingenieur Walter Liebau. 130 Seiten mit 83 Abbildungen. M. 10.—
52. **Warum, wann und wieweit ist der Automobilhalter haftpflichtig.** Von Diplom-Ingenieur K. Everts. 120 Seiten. M. 10.—
53. **Die Automobilbetriebsstoffe.** Von Ingenieur Ernst Jaenichen. 160 Seiten mit 36 Abbildungen im Text. 2. Auflage. M. 10.—
54. **Die Kosten des Automobilbetriebes.** Von Ingenieur A. König. Mit 45 Beispielen, mehreren Tabellen usw. M. 10.—
55. **Störungen am Kraftwagen und seinen Teilen.** Angaben über Merkmale, Ursachen und Abhilfe. Von Diplom-Ingenieur Schwaiger. 160 Seiten mit 1 Tafel. 2 Auflage. M. 10.—
56. **Das moderne Motorrad.** Konstruktion, Behandlung, Ausrüstung. Von Ingenieur G. Caesar. 150 Seiten mit 64 Abbildungen 4. Auflage. M. 10.—
57. **Karosseriebau.** Bd. 1: Karosserietypen, Holz- und Blecharbeiten. Von Ingenieur K. Reise. 144 Seiten mit 107 Abbildungen. 2. Auflage. M. 10.—
58. **Karosseriebau.** Bd. 2: Lack- und Polsterarbeiten. Von Ingenieur K. Reise M. 10.—
59. **Motorpflüge, Vorzüge und Nachteile der einzelnen Systeme.** Von Ingenieur Otto Barsch, Stettin. 2. Auflage. 260 Seiten mit 171 Abbildungen. M. 12.—
60. **Grundlagen zur Berechnung und Konstruktion von Motorpflügen.** Von Ingenieur Otto Barsch. 190 Seiten mit 106 Abbildungen im Text. M. 12.—
61. **Technische Ratschläge für den Ankauf von Motorpflügen.** Von Ing. O. Barsch. M. 12.—
63. **Moderne Automobil-Straßenreinigungsmaschinen.** Von Ingenieur Otto Barsch. 160 Seiten mit 55 Abbildungen. M. 12.—
64. **Deutsche Krafträder und Kleinkraftfahrzeuge.** Von Ulrich B. W. Thäter. 150 Seiten mit 100 Abbildungen. Preis M. 12.—
65. **Störungen am Kraftwagenmotor.** Von Ingenieur von Pisch. M. 10.—
66. **Tanks.** Von Ing. Krüger, Berlin. M. 10.— *(Weitere Bände sind in Vorbereitung)*

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.
Lutherstraße Nr. 14 **BERLIN W 62** Fernspr.: Amt Lützow 5147

Neu! **Neu!**

Handbuch der Flugzeugkunde

unter Mitwirkung des Reichsamts für Luft- und Kraftfahrwesen herausgegeben
von **F. Wagenführ**, Major und Kommandeur der Flugzeugmeisteret

Band VI, 1. Teil

Prüfung, Wertung und Weiterentwicklung von Flugmotoren

von

Dipl.-Ing. **H. Dechamps** und Prof. **K. Kutzbach**
in Bremen in Dresden

252 Seiten mit 307 Abbildungen
Preis in Halbleinen 100 Mark

INHALT:

I. Einleitung. — Bezeichnungen und Grundgleichungen. — Tafel der wichtigsten Motoren.
II. Prüfeinrichtungen. — a) Prüfung am Stand. — b) Unterdruckprüfung. — c) Prüfung im Flugzeug.
III. Prüfverfahren. — a) Prüfvorschriften. — b) Durchführung der Prüfungen. — c) Auswertung der Prüfungen.
IV. Ergebnisse der allgemeinen Motorenprüfung. Das Q_0-n- und N_0-n-Diagramm.
V. Untersuchungen über die Veränderung von Leistung und Verbrauch. — a) Untersuchungen über den Einfluß des Brennstoffgehaltes im Gemisch. Das p_m-H_0-Diagramm. — b) Versuche über den Einfluß des Verdichtungsverhältnisses. — c) Versuche über den Einfluß von Anfangsdruck und Anfangstemperatur. — d) Anpassung der Flugmotoren an die Flughöhe. Das N-μ- und p_m-μ-Diagramm. — e) Einfluß der Luftdichte auf die Schraubendrehzahl. — f) Versuche im Flugzeug über die Änderung des Brennstoffgehaltes. — g) Versuche im Höhenprüfstand zu Adlershof.
VI. Beiträge über Brennstoff-Förderung und Vergaserausbildung. a) Betriebssichere Lagerung, Förderung und Schaltung des Brennstoffs im Flugzeug. — b) Luftführung: Vergaserbrandsicherung und Gehäusekühlung. — c) Gemischbildung: Mischungsverhältnis und Brennstoffwechsel. — d) Vergaserheizung. — e) Zerstäubung bei niedrigen Drehzahlen. — f) Gleichförmige Drehzahländerung bei der Regelung. — g) Leerlaufdrehzahl.
VII. Beiträge zur Motorenkonstruktion. — a) Litergewicht und Leistungsgewicht. Zahlentafel 4: Neuere deutsche Höhenmotoren. — b) Erfahrungen an Zahnradgetrieben von Flugmotoren. — c) Die Ausbildung der Auspuffsammler.
VIII. Rückblick und Ausblick. — a) Passende Motorgrößen. — b) Passende Formgebung des Motors. — c) Passendes Gewicht. — d) Betriebsanpassung. — e) Wirtschaftlichkeit.

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.
Lutherstraße Nr. 14 **BERLIN W 62** Fernspr.: Amt Lützow 5147

Neu! **Neu!**

Handbuch der Flugzeugkunde

unter Mitwirkung des Reichsamts für Luft- und Kraftfahrwesen herausgegeben
von **F. Wagenführ**, Major und Kommandeur der Flugzeugmeisteret

Band VI, 2. Teil

Kühlung und Kühler für Flugmotoren

von

Dr.-Ing. **Pülz**

Mit einem Anhang:

Über die Elementargesetze des Kühlvorganges

von

Prof. Dr. **Trefftz** und Dr. **Pohlhausen**

200 Seiten in Lexikon-Oktav mit 171 Abbildungen im Text
Preis in Halbleinen dauerhaft gebunden 70 Mark

INHALT:

A. **Der Kühlvorgang.** I. Die Wärmeaufnahme des Wassers im Motor. II. Der Wasserkretslaul in der Kühlanlage. a) Die Prüfung der Wasserpumpen. b) Dte Prülung des Kühlers aul Wasserwiderstand. III. Die Wärmeabgabe im Kühler. a) Fremde Arbeiten über die Untersuehung von Kühtern in thermischer Hinstcht. 1. Die Versuehe von Dr.-Ing. *Doblhoff*. 2. Weitere Dresdener Untersuchungen. 3. Die Aachener Untersuchung. 4. Bericht vom Wiener Motorenwerk. Zusammenfassung der Wiener Versuehsergebntsse. b) Die praktische Kühlerprüfung im Flugzeug. 1. Die Charakteristik der Flugzeugkühler. 2. Krittk und Grenzen der Charakteristik 3. Die Messung der Kühlwtrkung während des Fluges. α) Die Wasserabkühlung. β) Die Lufterwärmung. 4 Darstellung und Kritik der Ergebnisse.

B. **Der Kühler.** I. Das Gewicht der Kühler. II. Der Luftwtderstand der Kühler. III. Der Innere Aufbau der Kühler. a) Der Block. 1. Tetie der Luftröhrchenkühler. 2. Blockteile der Wasserröhrchenkühler. b) Die Wasserführung im Kühler. c) Berechnung der Kühlliäche und des Kühtblocks. 1. Betspiele der Kühlerberechnung. IV. Die Entwicklung der Kühlerbauarten. V. Der Kühler im Flugzeug. a) Kühlereinbau. b) Rohrleitungen. VI. Kühlerzubehör. a) Dte Regelung. b) Kühlerventile. VII. Das Kühlmittel und die Kühlerbehandiung im Winter.

C. **Nachtrag.**

D. **Anhang:** Über die Elementargesetze des Kühlvorganges. Von *E. Trefftz* und *E. Pohlhausen*. 1. Versuchskörper und Versuchsanordnung. 2. Grundgedanken der Versuche. 3. Thermische Untersuchung. 4. Aerodynamtsche Untersuehung. 5. Zusammenfassung.

E. **Sachregister.**

Verlagsbuchhandlung **Richard Carl Schmidt & Co.**

Berlin W 62, Lutherstraße 14 Fernsprecher: Lützow 5147

Bibliothek für Luftschiffahrt und Flugtechnik

Band 1:

Kritik der Drachenflieger

von Ingenieur A. VORREITER, Berlin. 2. Auflage. 136 Seiten mit 121 Abbildungen. Preis gebunden M. 12.—

Band 2:

Grundzüge der praktischen Luftschiffahrt

von VICTOR SILBERER, Wien. 240 Seiten mit 30, zum Teil ganzseitigen Abbildungen und vielen Vignetten. Groß-Oktavformat. Preis gebunden M. 20.—

Band 3:

Motoren für Luftschiffe und Flugapparate

(Vergriffen. Siehe Band 14 u. 18.)

Band 4:

Die Kunst zu fliegen

ihre Anfänge, ihre Entwicklung. Von F. FERBER †. Deutsche Übersetzung von A. SCHÖNING. 215 Seiten mit 108 Abbildungen. (Vergriffen.)

Band 5:

Theorie und Praxis der Flugtechnik

von PAINLEVÉ und BOREL. Deutsche Übersetzung mit Nachträgen von A. SCHÖNING. 256 Seiten mit 76 Abbildungen. (Zur Zeit vergriffen.)

Band 6:

Das Flugzeug in Heer und Marine

von OLSZEWSKY und HELMRICH V. ELGOTT. 300 Seiten mit 59 Textabbildungen. (Vergriffen.)

Band 7:

Aeronautische Meteorologie

von FR. FISCHLI. 213 Seiten mit 49 Abbildungen, Karten und Tafeln. Preis geb. M. 20.—

Band 8:

Der Fallschirm

Seine geschichtliche Entwicklung und sein technisches Problem. Von GUSTAV VON FALKENBERG. 190 Seiten mit 83 Abbildungen im Text. Preis gebunden M. 20.—

Band 9:

Hilfsbuch für den Flugzeugbau

von Dipl.-Ing. O. L. SKOPIK. 200 Seiten mit 44 Abbildungen. (Zur Zeit vergriffen.)

Band 10:

Handbuch für Flugzeugkonstrukteure

von CAMILLO HAFFNER. 207 Seiten mit 218 Abbildungen. 2. Auflage. (Zur Zeit vergriffen.) Neuauflage in Kürze.

(Fortsetzung nächste Seite)

Band 11:

Wie berechnet, konstruiert und baut man ein Flugzeug?

von Dipl.-Ingenieur O. L. SKOPIK. 3. Auflage. 260 Seiten mit 200 Abbildungen. Preis gebunden M. 25.—

Band 12:

Flugzeug-Modellbau

von P. L. BIGENWALD, Zivilingenieur. 171 Seiten mit 158 Abbildungen und Konstruktionszeichnungen. 2. Auflage. Preis gebunden M. 20.—

Band 13:

Fliegerhandbuch

von k. k. Hauptmann und Feldpilot ROBERT EYB. 3. Auflage. 300 Seiten mit 224 Abbildungen. Preis gebunden M. 35.—

Band 14:

Motoren für Luftschiffe und Flugapparate

von Dr. FRITZ HUTH. 230 Seiten mit 218 Abbildungen und 1 Tafel. 3. Auflage. Preis gebunden M. 30.—

Band 15:

Baustoffe und Bauteile

von Dr. FRITZ HUTH. 200 Seiten mit 98 Abbildungen. Preis gebunden M. 20.—

Band 16:

Statik im Flugzeugbau

von J. SCHWENGLER, Ob.-Ing. 200 Seiten mit 70 Abbildungen. Preis geb. M. 20.—

Band 17:

Praxis des Flugzeugbaues

Ein Handbuch des Flugzeugbaues in 3 Bänden von K. ANACKER, Ingenieur und Flugzeugführer. Band 1: **Das Flugzeug und sein Aufbau.** 200 Seiten mit 148 Abbildungen im Text. Preis gebunden M. 20.—

Band 18:

Praxis des Flugzeugbaues

Ein Handbuch des Flugzeugbaues in 3 Bänden von K. ANACKER, Ingenieur und Flugzeugführer. Band 2: **Der Flugzeugmotor.** 260 Seiten mit 226 Abbildungen im Text. Preis gebunden M. 25.—

Band 19: **Praxis des Flugzeugbaues.** Band 3 in Vorbereitung.

Band 20:

Die Luftschraube

Eine einfache Darstellung der Wirkungsweise von Luftschrauben von Dr. H. BORCK. Mit 39 Textabbildungen und 5 Tafeln. Preis gebunden M. 15.—

Band 21:

Navigation und Seemannschaft im Seeflugzeug

Ein Handbuch für Marineflieger von THEO E. SÖNNICHSEN. 170 Seiten mit 52 Abbildungen und Tafeln. Preis gebunden M. 20.—

Band 22:

Mechanische und technische Grundlagen des Seefluges

von Dr. R. NIMFÜHR. 150 Seiten mit 26 Abbildungen. Preis gebunden M. 20.—

Band 23:

Skizzenbuch für Flugzeugkonstrukteure

von W. WEIKERT und G. HAENISCH. 40 Tafeln mit Text. Preis gebunden M. 20.—

Weitere Bände sind in Vorbereitung

Verlagsbuchhandlung **Richard Carl Schmidt & Co.**
Berlin W 62, Lutherstraße 14 **Telephon: Amt Lützow 5147**

Flugtechnische Bibliothek

Bd. 1: **Flugmotoren**
von Hermann Dorner und Walter Isendahl, Ingenieuren. 4. Auflage, bearb. von Ingenieur Walter Isendahl. 220 Seiten mit 102 Abbild im Text. Preis geb. M. 12.—

Bd. 2: **Moderne Flugzeuge in Wort und Bild**
von Heinz Erblich, Flugzeugführer. 2. verbesserte Auflage. 220 Seiten mit 172 Abbildungen im Text. (z. Z. vergr., Neuauflage in Vorber.)

Bd. 3: **Störungen am Flugmotor**
ihre Ursachen, Auffindung und Beseitigung nebst Flugmotorenkunde
von Dr. Fritz Huth. Mit 58 Abbildungen, darunter 4 Tafeln und einer Störungstahelle. Preis gebunden M. 12.—

Bd. 4: **Fliegerschule**
Was muß ich wissen, wenn ich Flieger werden will?
3. völlig umgearbeitete Auflage. 170 S. mit 140 Abbild. im Text. Preis geb. M. 12.—

Bd. 5: **Die Ausbildung zum Flugzeugführer**
von Heinz Erblich, Ingenieur und Flugzeugführer. 160 Seiten mit 79 Abbildungen. Preis gebunden M. 12.—

Bd. 6: **Verspannen von Flugzeugen**
von W. Meiß. 140 Seiten mit 100 Abbildungen und 3 Tafeln. Preis leicht geb. M. 12.—

Bd. 7: **Was der Flieger und der Flugmotoren-Monteur vom Standmotor wissen müssen**
von Alfred Lindner. 130 Seiten mit 10 Abbild. im Text. Preis leicht geb. M. 12.—

Bd. 8: **Festigkeitslehre für den Flugzeugbau**
von Dipl.-Ing. O. L. Skopik. 130 Seiten mit 21 Figuren, Tahellen und zahlreichen Rechnungsbeispielen. Preis leicht gebunden M. 12.—

Bd. 9: **Vergaser, Brennstoffe und Brennstoffzuführung für Flugmotoren**
von Ing. Bruno Reinhardt. 138 S. mit 82 Abbild. im Text. Preis leicht geb. M. 12.—

Bd. 10: **Die Landflugzeuge unserer Kriegsgegner**
von Ing. u. Flugzeugführer Heinz Erblich. 200 Seiten mit 137 Abbildungen im Text. Preis leicht gebunden M. 12.—

Bd. 11: **Die Notlandung**
Ein Handbuch für Flieger von Alex. Büttner. 180 S. mit 47 Abb. Preis leicht geb. M. 12.—

Bd. 12: **Hilfsbuch für Flugzeugmonteure**
von Reinhold Thebis. 160 S. mit 124 Abbild. im Text. Preis leicht geb. M. 12.—

Bd. 13: **Die Seefliegerei**
von Hermann Uflacker. 128 Seiten mit 46 Abbild. im Text. Preis gebunden M. 12.—

(Weitere Bände sind in Vorbereitung)

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.
Lutherstraße Nr. 14 **Berlin W 62** Fernspr.: Ami Lützow 5147

Soeben ist erschienen:

Autotechnische Bibliothek Band 12

Der Lastwagen-Motor

von

M. Albrecht

Neubearbeitung

von

Ingenieur **Herm. Augsburger**

Vierte verbesserte Auflage

400 Seiten mit 321 Abbild. im Text

Preis 20 Mark

INHALTSANGABE: Allgemeines über Motorlastwagen. Allgemeines über Wagenmotoren. Der Verbrennungsmotor für Lastwagen. Berechnung des Lastwagens. Berechnung der Verbrennungsmotoren. Thermodynamische Grundlagen. Arbeitsvorgänge. Motorleistung. Abmessungen neuzeitlicher Motoren. Dynamik des Fahrzeugmotors. Konstruktion des Verbrennungsmotors. Zubehör. Montage und Einbau des Motors. Auswuchten der Motoren. Andrehvorrichtung. Leistungsprüfung der Verbrennungsmotoren. Ausgeführte Maschinen. Schlußwort. Literaturnachweis.

Autotechnische Bibliothek Band 14

Nutz- und Last-Kraftwagen

Von Ing. **H. Augsburger**

Zweite, völlig umgearbeitete Auflage

290 Seiten mit 220 Abbildungen im Text

Preis 18 Mark

*

INHALTSANGABE: Einleitung. Technik des Fahrgestells. Allgemeines. Gesamtaufbau. Motor. Zugkraft und Steigungsvermögen. Triebwerk. Hinterachsantrieb. Arbeitsübertragung durch Kegelräder. Schneckenantrieb. Arbeitsübertragung durch Ketten. Arbeitsübertragung durch Stirnräder. Kritik des Achsantriebes. Ausgleichgetriebe. Kardanhinterachse. Auf die Treibachse wirkende Kräfte. Einfluß der Fahrbahn. Achsabstützung Kardangelenke. Das Schalt- oder Wechselgetriebe. Kupplung. Bedienungseinrichtungen. Lenkung. Schaltung. Bremsung. Anordnung der Bedienungsvorrichtungen. Wagenrahmen. Federn. Achsen. Räder und Reifen. Wagenkasten. Ausgeführte Fahrzeuge. Wirtschaftsrechnung der Kraftwagenbetriebe Allgemeines. Beziehungen zwischen Wirtschaftlichkeit und Wagenkonstruktion. Betriebsstatistik. Betriebskostenaufstellungen. Neuzeitliche Gesichtspunkte für den Lastkraftwagenbau. Literaturnachweis.

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.
Berlin W 62, Lutherstr. 14 · Fernspr.: Amt Lützow 5147

Bibliothek für Luftschiffahrt und Flugtechnik Band 8

Der Fallschirm

seine geschichtliche Entwicklung
und sein technisches Problem

von

Gustav von Falkenberg

192 Seiten mit 83 Abbildungen im Text
Preis gebunden 20 Mark

INHALTSVERZEICHNIS:

Einleitung. I. Teil: Die historische Entwicklung des Fallschirms. Die Vorläufer. — Von 1785—1804. Garnerin. — Von 1804—1852. — Die neue Idee und der lenkbare Fallschirm. — Von 1854 bis heute. Letur und die neueren Probleme. — II. Teil: Das technische Problem des Fallschirms. — III. Teil: Das mathematische Problem des Fallschirms. Personen- und Ortsregister.

Bibliothek für Luftschiffahrt und Flugtechnik Band 15

Baustoffe und Bauteile
des Flugzeugs

Hilfsbuch für den Konstruktionstisch von Prof. Dr. FRITZ HUTH

200 Seiten mit 98 Abbildungen. Preis gebunden 20 Mark

INHALT: Vorwort. Baustoffe: Holz. Stahl. Aluminium und Aluminiumlegierungen. Kupfer und Kupferlegierungen. Metallanstriche. Flugzeuglacke. Bauteile: Bauteile des Flugzeuggestells: Drähte. Stahlband. Drahtseile. Stahlrohre. Kupferrohre. Messingrohre. Aluminiumrohr. Holzplatten. Holzrohre. Bespannungsstoffe. Stahlfedern. Gummifedern. Spannschrauben. Kabelklemmhülsen. Seilrollen. Laufräder. Bauteile des Antriebes: Zahnräder. Stirnräder. Kegelräder. Ketten und Kettenräder. Rollen- und Blockketten. Zahnketten. Kugellager und Rollenlager. Vergaser. Zündmagnete. Elektrische Sammler. Zündkerzen. Kühler. Brennstoff- und Ölbehälter. Luftschrauben. Tachometer. Manometer. Wasserpumpen. Standmesser. Biegsame Wellen. Schalldämpfer. Kupplungen. Handluftpumpen. Ölpumpen. Überdruckventile. Dichtungen. Bedienungsteile: Steuerräder. Bedienungshebel. Zubehörteile: Wind- und Fluggeschwindigkeitsmesser. Kompasse. Stabilisatoren. Zugmesser. Flugzeugbeleuchtung.

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.
Berlin W 62 Lutherstraße 14 · Fernspr.: Amt Lützow 5147

Bibliothek für Luftschiffahrt und Flugtechnik Band 13

Fliegerhandbuch

Ein Leitfaden der gesamten Flugtechnik

von

Robert Eyb

k. u. k. Hauptmann, Feldpilot

320 Seiten mit 224 Abbildungen, darunter eine große Motorentafel

Preis dauerhaft gebunden 35 Mark

3. vom Verfasser völlig umgearbeitete Auflage

Die 3. Auflage des allseitig geschätzten Handbuches ist vom Verfasser so durchgreifend umgearbeitet worden, daß ein vollständig neues Werk entstanden ist, das in knapper, gedrängter Darstellung alles bietet, was der Flieger an praktischen und theoretischen Kenntnissen nötig hat. Die zahlreichen Abbildungen (darunter ca. 200 neue) sind ausschließlich nach Originalzeichnungen und Photographien des Verfassers angefertigt.

Neu! **Neu!**

Klein-Gasmotor mit Gleichstromdynamo

nebst Anlage zum Laden kleiner Akkumulatoren

Leichtfaßliche Darstellung zur Selbstanfertigung

von

Otto Lich, Betriebsingenieur, Berlin, u. **Willy Tuloschinsky**, Ingenieur, Berlin

120 Seiten mit 169 Textabbildungen und 5 Konstruktionstafeln

Preis leicht gebunden 25 Mark

Soeben ist erschienen:

Grundzüge der Elektrotechnik

Ein Lehrbuch für Schule und Praxis

von

Dr. **Rudolf Wotruba**

Band I

Groß-Lexikonformat. 170 Seiten mit 110 Textabbildungen

Preis dauerhaft gebunden 25 Mark

Band II

360 Seiten mit 300 Abbildungen u. 7 Tafeln. **Preis in Halbleinen 60 Mark**

Ausführliche Prospekte vom Verlag oder durch jede Buchhandlung

Verlagsbuchhandlung Richard Carl Schmidt & Co.
Lutherstraße Nr. 14 **Berlin W 62** Amt Lützow 5147

Bibliothek für Luftschiffahrt und Flugtechnik

Band 17

Praxis des Flugzeugbaues

Ein Handbuch der Flugtechnik

zum praktischen Gebrauch für Betriebsleiter und Werkmeister sowie zum Selbstunterricht und für Studierende technischer Lehranstalten

von

Kurt Anacker Ingenieur und Flugzeugführer

Band 1

Das Flugzeug und sein Aufbau

170 Seiten mit 148 Abbildungen und Zeichnungen im Text

Gebunden 20 Mark

INHALTSVERZEICHNIS: Einleitung — Arten der Flugzeuge — Bewaffnung — Allgemeine Beschreibung des Flugzeuges — Grundformen des Flugzeuges — Flugzeugmotor — Luftschraube — Stellung der Flächen und deren Verspannung — Anleitung zur praktischen Verspannung eines Flugzeuges — Fehler in der Flugzeuglage beim Fluge — Fertig-Montage — Abnahmevorschriften — Startbereitschaft — Im Flugzeugbau bzw. bei Reparaturen vorkommende Spezialarbeiten: Spleißen — Tischlerarbeiten — Klempner- und Kupferschmiedearbeiten — Tapezier-, Sattler- und Malerarbeiten — Schlosser-, Dreher- und Schmiedearbeiten — Laufradbehandlung und Bereifung — Schweißen — Luftschraubenprüfung und Nabeneinbau — Baustoffkunde — Belastungsproben.

Band 18

Praxis des Flugzeugbaues

Ein Handbuch der Flugtechnik

zum praktischen Gebrauch für Betriebsleiter und Werkmeister sowie zum Selbstunterricht und für Studierende technischer Lehranstalten

von

Kurt Anacker Ingenieur und Flugzeugführer

Band 2

Der Flugzeugmotor

260 Seiten mit 226 Abbildungen im Text

Preis gebunden 25 Mark

INHALT: Vorwort — Einleitung — Allgemeines über Explosionsmotoren — Flugzeugmotoren — Arbeitsverfahren — Berechnung der Motorenleistung — Wirkungsgrad der Motoren — Abbremsen von Motoren — Brennstoffe — Der Sechszylinder-Flugzeugmotor — Die Einzelteile des Standmotores — Vergaser — Brennstoffzuführung — Zündung — Schmierung — Schmiermittel — Kühlung — Auspuffsammler — Motoren-Ab- und -Zusammenbau — Einbau des Motores in das Fahrzeug — Behandlung und Wartung der Motoren — Betriebsstörungen und deren Beseitigung — Kraftübertragung und Steuerung der Motoren — Moderne Flugzeugmotoren-Typen — Der Umlaufmotor — Ab- und Neuaufbau von Umlaufmotoren.

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07508 7117

East Engin.
Library
TL
507
.H236
401601

Handbuch der
Flugzeughunde
Band VIII.

O. J. Schaefer
222 W. Elwood
10/3

Renewed.

Digitized by Google